

Universität Heidelberg
Institut für Sport und Sportwissenschaft

Wissenschaftliche Arbeit
für die Zulassung zum 1. Staatsexamen

Regelt Struktur Lernen?

Über die Wechselwirkungen
zwischen Tracking- und Tonzählaufgaben
beim impliziten und expliziten motorischen Lernen

Wissenschaftliche Betreuung:
Prof. Dr. Klaus Roth

Vorgelegt von:

Jörg-Ralph Schorer
Kurpfalzstr. 4
69493 Hirschberg

Januar 1998

Gliederung:

VORWORT.....	6
EINLEITUNG.....	6
1 INTERFERENZ	8
1.1 INTERFERENZ DURCH BEGRENZTE KAPAZITÄT	8
<i>1.1.1 Modelle begrenzter unspezifischer Verarbeitungsressourcen</i>	<i>9</i>
<i>1.1.2 Modelle multipler spezifischer Ressourcen.....</i>	<i>11</i>
1.2 STRUKTURELLE INTERFERENZ	14
<i>1.2.1 Verarbeitungsmodelle.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.2 Eine neue Kategorisierung von strukturellen Interferenzen</i>	<i>17</i>
1.3 DAS WECHSELWIRKUNGSMODELL	20
1.4 DISKUSSION	23
2 LERNEN & STRUKTUR.....	24
2.1 EINE ALLGEMEINE LERNTHEORIE	24
2.2 THEORIEN DES IMPLIZITEN LERNENS	27
<i>2.2.1 Globale Betrachtung des impliziten Lernens</i>	<i>27</i>
<i>2.2.2 Spezifische Betrachtung des impliziten Lernens</i>	<i>31</i>
2.3 MOTORISCHE LERNTHEORIEN	35
<i>2.3.1 Generalisierte motorische Programme</i>	<i>35</i>
<i>2.3.2 Schmidt's Schematheorie.....</i>	<i>37</i>
2.4 IMPLIZITES MOTORISCHES LERNEN	39
<i>2.4.1 Grundlagenorientierte Forschung.....</i>	<i>39</i>
<i>2.4.2 Anwendungsorientierte Forschung</i>	<i>45</i>
2.5 DIE TEILE IM GANZEN	46

3 HYPOTHESEN	49
4 UNTERSUCHUNGSMETHODIK.....	51
4.1 VORÜBERLEGUNGEN	51
4.1.1 Testkonstruktion	53
4.1.2 Schwierigkeitsindex	54
4.1.3 Voruntersuchung	56
4.2 UNTERSUCHUNGSDESIGN UND TESTAUFBAU	58
4.3 UNTERSUCHUNGSPLANUNG	60
4.3.1 Konzeptualisierung des Testverfahrens (abhängige Variablen)	61
4.3.2 Treatments (unabhängige Variable).....	62
4.3.2.1 Gruppe mit Einzelaufgabe	62
4.3.2.2 Gruppe mit randomisierter Tonzählaufgabe.....	62
4.3.2.3 Gruppe mit strukturierter Tonzählaufgabe	63
4.3.3 Versuchspersonen.....	63
4.4 UNTERSUCHUNGSDURCHFÜHRUNG.....	64
4.4.1 Untersuchungszeitraum und -ablauf.....	64
4.4.2 Untersuchungsort	65
5 ERGEBNISSE UND INTERPRETATION.....	66
5.1 AUSWERTUNG	66
5.1.1 Testgütekriterien.....	66
5.1.2 Fehlermaße und Variablen.....	68
5.1.2.1 Trackingaufgabe	68
5.1.2.2 Tonzählaufgabe	68
5.2 DESKRIPTIVE STATISTIK.....	69
5.2.1 Versuchspersonen-Ranking	69
5.2.2 Gruppendarstellung.....	70
5.2.3 Abschnittsdarstellung	73
5.2.4 Tonzählaufgabendarstellung	76
5.2.5 Ergebnisse aus Fragebogen 1	77
5.2.6 Ergebnisse aus Fragebogen 2	77

5.3 INFERENZSTATISTIK.....	78
5.3.1 Gruppenunterschiede	78
5.3.2 Abschnittsunterschiede	80
5.3.3 Tonunterschiede	81
5.4 ZUSATZFRAGESTELLUNG	82
5.5 INTERPRETATION DER ERGEBNISSE	85
6 DISKUSSION UND AUSBLICK	86
7 LITERATUR	89
8 ANHANG	103
8.1 INSTRUKTION.....	103
8.2 FRAGEBOGEN 1	104
8.3 FRAGEBOGEN 2.....	105
8.4 NORMALVERTEILUNGEN.....	106

Tabellenverzeichnis:

Tab. 1: Einige experimentelle Evidenzen für die Existenz impliziter Lernprozesse (nach Berry 1994)	28
Tab. 2: Untersuchungen zum Ereignissequenzlernen mit Doppelaufgaben.....	31
Tab. 3: Untersuchungen zum impliziten motorischen Lernen	39
Tab. 4: Kreuzdesign von Magill & Clark 1997	43
Tab. 5: Anzahl der Durchgänge zur Aneignung.....	52
Tab. 6: Schwierigkeitsindexmittelwert pro Abschnitt.....	56
Tab. 7: Reliabilitätskoeffizienten nach Spearman-Brown-Formel	67
Tab. 8: Geschätzte Reliabilitätskoeffizienten (nach Rolon).....	67
Tab. 9: Gruppenwerte der Trackingaufgabe.....	70
Tab. 10: Abschnittswerte der Trackingaufgabe.....	73
Tab. 11: Gruppenmittelwerte bei der Tonaufgabe (in Prozent angegeben)	76
Tab. 12: Varianz- und Kovarianzanalyse Trackingaufgabe für Gruppenunterschiede	79
Tab. 13: Varianz- und Kovarianzanalyse Trackingaufgabe für Abschnittsunterschiede ...	81
Tab. 14: T-Test für Tonzählaufgabe: Prozent der richtig gezählten Töne	82

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 1: Kahnemanns Modell (Kahnemann 1973, 10).....	9
Abb. 2: Schnittmengenmöglichkeiten	11
Abb. 3: Traditionelle Verarbeitungsmodelle (Prinz 1992, 3).....	15
Abb. 4: Common Coding (Prinz 1997, 130)	16
Abb. 5: Hypothetische S-S-R-R Interferenzkategorisierung.....	17
Abb. 6: Die Lokalisation verschiedener Funktionen im Cortex (nach Geschwind 1986 aus: Roth & Prinz 1996, 248 Farbabbildungen XIII).....	21
Abb. 7: Hypothetischer Mechanismus der antizipativen Verhaltenskontrolle (Hoffmann 1993, 44).....	26
Abb. 8: Tatsächliche Ergebnisse und Ergebniserwartungen (Heuer & Schmidtke 1996, 121).....	34
Abb. 9: Schmidt's Schematheorie (Schmidt 1975, 236)	38
Abb. 10: Ergebnisabbildung der Untersuchung von Pew (Pew 1974, 396).....	40
Abb. 11: Ergebnisse der Magill-Untersuchungen (1990 links / 1991 rechts).....	42
Abb. 12: Beispiele für Trackingmuster mit unterschiedlicher Amplitude (oben) und unterschiedlicher Zeitdauer (unten) (Wulf & Schmidt 1997, 991)	44
Abb. 13: Hierarchische Strukturierung von Antizipationen (Hoffmann 1993, 246).....	47
Abb. 14: Arithmetisches Mittel für die komplette Kurve (x-Achse: Blöcke von je zehn Durchgängen; y-Achse: Arithmetisches Mittel des RMS-Fehlers).....	57
Abb. 15: Mittelwerte pro Abschnitt der Kurve (x-Achse: Blöcke von je zehn Durchgängen; y-Achse: Arithmetisches Mittel des RMS-Fehlers).....	58
Abb. 16: Design der Untersuchung	59
Abb. 17: Photo des Testaufbaus	59
Abb. 18: Schematische Darstellung des Apparatus.....	60
Abb. 19: Beispielkurve (Quadrat = randomisierte hohe Töne; Kreise = strukturierte hohe Töne).....	63
Abb. 20: Versuchsperson im Testraum	65
Abb. 21: Scatter der VPN für Block 1 (x-Achse: Versuchspersonennummer; y-Achse: Durchschnittlicher RMS-Fehler im 1. Block)	69
Abb. 22: Übersicht über alle Gruppen pro Block (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)	70
Abb. 23: Gruppenvergleich in Abschnitt 1 (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln).....	71
Abb. 24: Gruppenvergleich in Abschnitt 2 (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln).....	72
Abb. 25: Gruppenvergleich in Abschnitt 3 (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln).....	72
Abb. 26: Übersicht pro Abschnitt über alle Gruppen (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln) ..	74
Abb. 27: Gruppe mit Einzelaufgabe pro Abschnitt (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)	74
Abb. 28: Gruppe mit randomisierter Zweitaufgabe pro Abschnitt (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)	75
Abb. 29: Gruppe mit strukturierter Zweitaufgabe pro Abschnitt (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)	76
Abb. 30: Übersicht Töne pro Gruppe (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)	76
Abb. 31: Teilgruppendarstellung über alle Abschnitte (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln) ..	82
Abb. 32: Teilgruppendarstellung des Abschnitts 1 (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln).....	83
Abb. 33: Teilgruppendarstellung des Abschnitts 2 (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln).....	84
Abb. 34: Teilgruppendarstellung des Abschnitts 3 (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln).....	84

Vorwort

Diese Arbeit entstand mit der Hilfe verschiedener Menschen, die alle einen mehr oder weniger großen, aber immer einen wichtigen Einfluß auf mich hatten.

Ihnen gebührt mein Dank an dieser Stelle:

Prof. Dr. Klaus Roth, der mir viele Möglichkeiten und Chancen bot, so daß diese Arbeit für mich überhaupt erst möglich wurde.

Herrn Markus Raab, der mir in den letzten drei Jahren immer neue Fragen und Aufgaben stellte und mich dabei nach meinen eigenen Antworten suchen ließ.

Prof. Dr. Richard Magill, der sich Zeit nahm, um mit mir über die Ergebnisse zu diskutieren und sämtliche notwendige Logistik für den Aufenthalt in den USA bereit stellte.

Den Probanden, ohne die eine solche Untersuchung nicht möglich ist und die fast vier Stunden „gekreuzigt“ wurden.

Den Kellerkindern, die für eine angenehme Arbeitsatmosphäre sorgen und immer ein offenes Ohr bei Fragen für mich haben.

Herrn Arne Gabriel, für die schnelle und saubere Programmierung der Tests.

Daniela, Eva, Kerstin und Natalie, für das Korrekturlesen der Arbeit.

Bärbel+Gundi, Caroline, Daniela, Erik, Eva, Frauke+Sascha, Heiko, Meike, Natalie, Nicole+Mike, Ralf und Verena, die über lange Jahre meine Entwicklung begleitet und beeinflußt haben.

Last but not least, ist meine ganze Familie zu erwähnen. Sie ermöglichen mir nicht *nur* mein Studium ...

Einleitung

E. Spranger kennzeichnet Struktur als „... *Gebilde der Wirklichkeit, wenn es ein Ganzes ist, in dem jeder Teil und jede Teilfunktion eine für das Ganze bedeutsame Leistung vollzieht, und zwar so, daß Bau und Leistung jedes Teils wieder vom Ganzen her verständlich sind*“ (Brockhaus 1989, 351).

Die Strukturierung dieser Arbeit ist in eben diesem Sinne gedacht. Die einzelnen Kapitel werden im alleinigen Kontext teilweise unverständlich sein, doch aus dem Gesamtkonzept her, so hofft der Verfasser, doch verständlich und sinnvoll. Im ersten Kapitel soll hierzu

die theoretische Bedeutung und eine mögliche Gliederung des Interferenzbegriffes gegeben werden. Aus diesem Kapitel wird deutlich, daß der Kapazitätsansatz in der Aufmerksamkeitsforschung einigen Fortschritt brachte, aber im Gegensatz zum Wechselwirkungskonzept keine bzw. kaum Chancen zur Erklärung der Förderung von Lernprozessen bietet. Um diese Lernprozesse geht es dann im zweiten Teil des Theorieteils. Hier wird zuerst die übergeordnete Lerntheorie Hoffmann's dargestellt, um eine Rahmenkonzeption für die einzelnen spezifischen Betrachtungsweisen einordnen zu können. Danach werden „besondere“ Fälle des Lernens dargestellt. Bei diesen Unterkategorien handelt es sich einerseits um das implizite Lernen und andererseits um das motorische Lernen. Daß diese beiden Denkansätze große Gemeinsamkeiten aufweisen, belegt das vierte Unterkapitel, in dem es um Untersuchungen zum impliziten motorischen Lernen geht. Die anschließende Diskussion schließt dann den „Kreis der Lerntheorien“ und zeigt, inwieweit die Befunde aus den spezifischen Domains in das Rahmenkonzept passen.

Im empirischen Teil der Arbeit wird zunächst die Fragestellung erörtert. Aus den Erläuterungen im theoretischen Teil folgen dann inhaltliche Hypothesen. Diese werden in statistische Hypothesen umformuliert, um sie empirisch überprüfbar zu machen. Die Daten sollen deshalb sowohl mit deskriptiver Statistik als auch mit Inferenzstatistik betrachtet werden. Die Abschlußdiskussion wird daraus folgernd die Teilbedeutung dieser Arbeit für das Ganze aufzeigen. Da, wie Spranger schon schreibt, die Teile nur vom Ganzen verständlich sind, kann es nur zu einem vorläufigen Verständnis kommen. Doch um diesen Teil verstehen zu können, müßten erst die aufkommenden Fragen betrachtet werden, um den Teil aus dem Ganzen verstehen zu können. Diese Fragen werden zum Abschluß gestellt, so daß sich die vorliegende Arbeit in die Forschungsidee von H. Hesse eingliedert: *„Alles Wissen und alle Vermehrung unseres Wissens endet nicht mit einem Schlußpunkt, sondern mit Fragezeichen. Ein Plus an Wissen bedeutet ein Plus an Fragestellungen, und jede von ihnen wird immer wieder von neuen Fragestellungen abgelöst“* (Hesse, H. in Michels, V. 1995, 113).

1 Interferenz

Der Begriff „Interferenz“ setzt sich aus „inter“ (lat.: zwischen) und „ferre“ (lat.: tragen, bringen, hervorbringen, erzeugen) zusammengesetzt. Er beschreibt „...die Beeinflussung (Hemmung/Löschung, Störung oder Förderung) des Lernens...“ (Brockhaus 1989, 563). Im Schwimmen beispielsweise werden Interferenzen auf zwei unterschiedliche Weisen genutzt. Der lernende Delphinschwimmer bekommt die Anweisung, seine Bewegungen durch das Mitdenken eines bestimmten Rhythmus zu begleiten. Der geübte Delphinschwimmer dagegen bekommt die Aufgabe, von der Zahl 400 in Dreierschritten rückwärts zu zählen, um zu überprüfen, inwieweit die Bewegung bereits automatisiert ist. Der lernende Schwimmer bekommt also eine Art von Strukturhilfe, der geübte Schwimmer hingegen eine Zusatzbelastung. Es gibt somit zwei unterschiedliche Ansätze, wie Interferenzen im Sport genutzt werden. Diese werden nach Marteniuk als „capacity and structural interference effects“¹ (Marteniuk 1986, 55) bezeichnet. Sie basieren neben anderen Ansätzen hauptsächlich auf strukturellen oder auf kapazitiven Interferenzansätzen. Diese unterschiedlichen Ansätze sollen Gegenstand der beiden folgenden Unterkapitel sein.

1.1 Interferenz durch begrenzte Kapazität

Die Metapher der begrenzten Kapazität stammt aus der Zeit der ersten Computer und wird von Broadbent (1958) mit in sein Kanalmodell eingeführt. Der Computer mit seiner begrenzten Hardware macht den Schluß auf begrenzte Kapazitäten naheliegend. Wie begrenzt die Rechner damals wie heute sind, erwähnt Moray: „...our Elliott 903 an 8K machine...“² (Moray 1967, 87). Die von Broadbent ursprünglich postulierte Funktion der Kapazität wandelt sich aber mit der neuen Computermetapher. Die Kapazität wird jetzt als ein „... central processor of limited capacity which receives, transforms, and generates messages“³ (Moray 1967, 87) begriffen. Aus diesem Grundansatz entwickeln sich unterschiedliche Modelle, die alle von folgenden Grundannahmen ausgehen:“

1. Die Funktionsgrundlage für Informationsverarbeitungsprozesse liefern Verarbeitungsressourcen, die ihrer Menge nach begrenzt sind.

¹ Kapazitäts- & Struktur-Interferenzeffekte

² unser Computer Elliott 903 mit acht Kilobyte

³ zentraler Prozessor mit limitierter Kapazität, welcher Nachrichten empfängt, übersetzt und generiert

2. Die Verarbeitungsressourcen können gleichzeitig mehreren Verarbeitungsprozessen zur Verfügung gestellt werden, so daß eine parallele Informationsverarbeitung prinzipiell möglich ist.
3. Es besteht ein monoton steigender Zusammenhang zwischen den Leistungen in einer Aufgabe und der Menge der zur Aufgabenbewältigung bereitgestellten Ressourcen.
4. Unterschiede in der Aufgabenschwierigkeit/-komplexität spiegeln sich in einer unterschiedlichen Effizienz der Verarbeitungsressourcen für diese Aufgaben wieder; zur Erreichung eines vergleichbaren Leistungsniveaus müssen bei einer schwierigeren Aufgabe mehr Ressourcen eingesetzt werden als bei einer leichten“ (Manzey 1993, 83).

1.1.1 Modelle begrenzter unspezifischer Verarbeitungsressourcen

Kahnemann (1973) leistet die erste formelle theoretische Ausarbeitung eines Modells begrenzter unspezifischer Verarbeitungsressourcen. Er schließt eine wissenschaftliche Lücke mit seinem Buch „Attention and effort“, die „... in gewisser Hinsicht eine Außenseiterposition vertrat und doch zum in den siebziger und achtziger Jahren vermutlich meistzitierten Werk über Aufmerksamkeit werden sollte“ (Neumann 1996, 565).

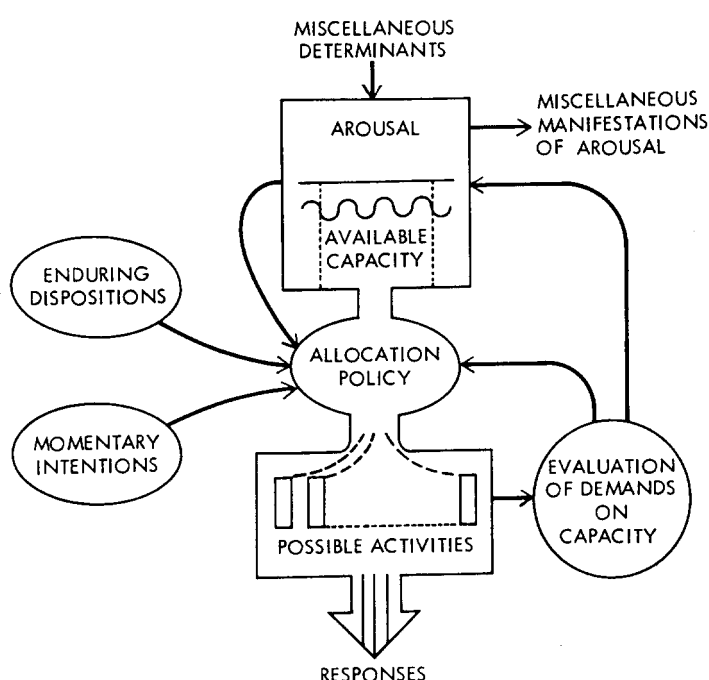


Abb. 1: Kahnemanns Modell (Kahnemann 1973, 10)

Er erweitert die oben geschilderten Grundannahmen um zwei entscheidende Aspekte (s. Abb. 1). Der *erste* Aspekt betrifft die obere Grenze der Kapazität, die bei der Computemetapher angenommen wurde. Ein PC hat eine gewisse Speicherkapazität. Wenn diese belegt ist bzw. genutzt wird, ist sie nicht mehr steigerbar. Es gibt also eine fixe obere Grenze. Beim Menschen verhält sich dies anders. Jeder Mensch kennt aus eigenen

Grenzerfahrungen, in denen er glaubte seine obere Grenze bereits erreicht zu haben, daß es durch zusätzliche Anstrengungen⁴ doch noch einen Schritt weiter geht. Daraus folgert Kahnemann, daß es für den Menschen keine obere Grenze gibt, die individuell konstant wäre, „... *sondern vielmehr bei steigender Anforderung ansteigt*“ (Heuer 1996, 178). Man kann also die vermeintliche obere Grenze nach oben verschieben oder mit anderen Worten: Es ist möglich, die Restkapazität zu steigern. Kahnemann nimmt an, daß „... *the limit varies with the load of arousal: more capacity is available, when arousal is moderately high than when arousal is low*“⁵ (Kahnemann 1973, 13). Durch Anstrengung ist also eine größere Restkapazität bei steigender Aufgabenschwierigkeit möglich; dennoch sinkt bei schwereren Aufgabenkombinationen die obere Grenze ab.

Der *zweite* Aspekt bezieht sich darauf, daß nicht nur durch die Konkurrenz um begrenzte zentrale Kapazitäten Doppeltächtigkeitsinterferenzen entstehen, sondern daß es auch eine strukturelle Interferenz gibt. Sie entsteht aus miteinander unzuvereinbarenden Aufgaben, wie zum Beispiel beim gleichzeitigen visuellen Beobachten von zwei Zielreizen, die weit auseinander liegen. Sie resultieren also aus den unmöglichen, simultanen Aktivitäten an identischen Strukturen. Augenscheinlich sind sie bei simultaner Nutzung von gleichen Rezeptoren (Auge, Ohr etc.) oder Effektoren (Hände, Beine etc.). Die strukturelle Interferenz ist aber nicht nur durch Effekte in der Peripherie des Menschen erklärbar, sondern kann auch durch Prozesse im Inneren des Menschen beleuchtet werden (vgl. Kap. 1.2).

Ein *dritter* Aspekt wird von Navon & Gopher (1979)⁶ in die Diskussion eingebracht. Sie führen die Begriffe „*costs and benefits for concurrence*“⁷ (Navon & Gopher 1979, 224) ein. Es kann also bei gleichzeitiger Ausführung nicht nur zu „Kosten der Gleichzeitigkeit“, sondern auch zu „Nutzen der Gleichzeitigkeit“ kommen. Diese treten immer dann auf, wenn die Ausführung „... *mehr ist als die Summe von zwei Einzeltätigkeiten*“ (Heuer 1996, 178). Kosten entstehen, wenn beide Aufgaben erst so organisiert werden müssen, daß man sie gleichzeitig ausführen kann. Nutzen der Gleichzeitigkeit würden entstehen, wenn sich

⁴ Kahnemann (1973) verwendet hierfür den Begriff „Arousal“.

⁵ Die Grenze variiert mit der angewandten Anstrengung: Es ist mehr Kapazität erhältlich, wenn man sich stark anstrengt, als wenn man sich weniger anstrengt.

⁶ Das Modell von Navon & Gopher (1979) gehört aber grundsätzlich in die Kategorie Mehr-Ressourcen-Modelle.

⁷ Kosten und Nutzen der Gleichzeitigkeit

für die eine Aufgabe aus der Lösung der anderen ein Vorteil ergeben würde. So ist zum Beispiel das Mitzählen einer Taktsequenz beim Tanzen für die meisten Anfänger förderlich, obwohl es sich um eine Doppelaufgabe handelt.

Aus dieser dritten Annahme heraus entsteht eine Verletzung der Annahme der Kapazitätsaufteilung, da sich bei den bisherigen Kapazitätsmodellen die Gesamtsumme aus der Formel $K_1 + K_2 = K_{\text{ges}}$ zusammensetzt. Nach dem Modell von Navon & Gopher (1979) gibt es aber eine Mischmenge, so daß die Gleichung $K_1 - K_{1 \cap 2} + K_2 = K_{\text{ges}}$ lauten müßte. Dies führt zu Modellen multipler spezifischer Ressourcen.

1.1.2 Modelle multipler spezifischer Ressourcen

Dieser Zusatzaspekt der nicht-ressourcenbedingten strukturellen Interferenzen von Navon & Gopher (1979) wird innerhalb der Modelle multipler spezifischer Ressourcen aufgegeben. Sie versuchen „... auch diejenigen Aufgabeninterferenzen bei Doppeltätigkeiten, die unabhängig von der Aufgabenschwierigkeit auf Ähnlichkeiten in der Aufgabenstruktur zurückgehen, ressourcentheoretisch zu erklären“ (Manzey 1988, 47). Grundsätzlich wird von verschiedenen einzelnen Teilressourcen ausgegangen, die alle die gleichen Eigenschaften haben, wie sie bereits den allgemeinen Ressourcen in den Modellen begrenzter unspezifischer Ressourcen zugesprochen worden sind. „Sie sind in ihrer Menge begrenzt und können flexibel verschiedenen Verarbeitungsprozessen zugeteilt werden“ (Manzey 1988, 48). Diese Verarbeitungsressourcen sind untereinander unabhängig organisiert, können aber gleichzeitig genutzt werden. Aus der „demand composition“⁸ (Navon & Gopher 1979, 238) leitet man her, welche (d.h. der Art nach) und wie viele (d.h. der Menge nach) Ressourcen zur bestmöglichen Lösung der Aufgabe nötig sind. Dieses Mischungsverhältnis hat einen wesentlichen Einfluß auf die Aufgabenleistung.

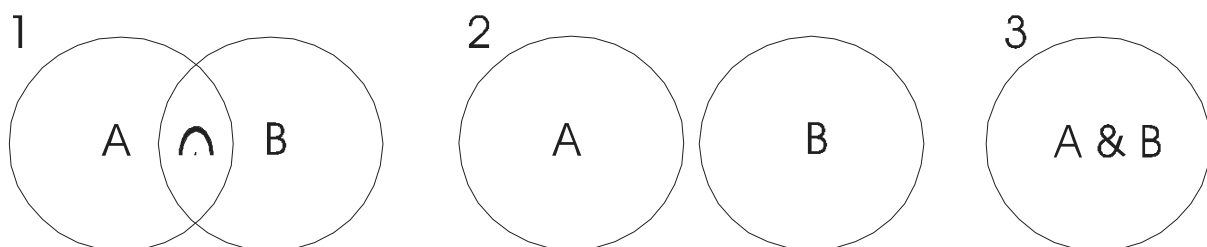


Abb. 2: Schnittmengenmöglichkeiten

Wie man in der Abbildung 2 erkennen kann, nutzen beide Aufgaben gleichzeitig die Schnittmenge. Dies führt im *ersten* Fall zu Interferenzen, die Leistungseinbußen zur Folge

⁸ Anforderungsprofile

haben. Es können jedoch zwei weitere Möglichkeiten auftreten. Im *zweiten* Fall könnte jegliche Schnittmenge fehlen, so daß auch dann keinerlei Interferenzen auftreten würden. Überlappen sich die beiden Aufgaben vollständig (*dritter* Fall), so kommt es zu starken Interferenzen. Um diese Interferenzen anhand der Aufgaben besser vorhersagen zu können, ist es nötig, die Ressourcen besser zu spezifizieren. Wickens (1980/1984) versucht dies und „... vermutet auf der Basis einer Analyse zahlreicher Doppeltächtigkeitsuntersuchungen und einer Reihe eigener Experimente die Existenz von hemisphärenspezifischen Ressourcen, modalitätsspezifischen Ressourcen (bezogen auf die Darbietungs- und Reaktionsmodi) und von Ressourcen, die für motorische und perzeptiv-kognitive Funktionen spezifisch sind“ (Manzey 1988, 57f.).

Erste theoretische Überlegungen hierzu kommen von Friedman & Polson (1981). Sie versuchen ein Rahmenkonzept für die Modelle multipler spezifischer Ressourcen auf Grundlage der zwei Hirnhemisphären zu entwickeln. Dafür beschreiben sie „... *the simplest version of a multiple-resources model, in which the existence and number of resource pools has been tied to the anatomical structure of the brain*“⁹ (Friedman & Polson 1981, 1053). In diesem Modell gehen sie davon aus, daß die beiden Hirnhälften nicht unterschiedlich stark aktiviert werden können. Die modelltheoretischen Folgerungen sind, „... *to explain data from experiments employing distinctive and converging measures of cerebral specialization, as well as data from experiments in which issues of cerebral specialization were not of primary concern*“¹⁰ (Friedman & Polson 1981, 1053). Durch ihren konzeptionellen Rahmen für multiple spezifische Ressourcen-Modelle erklären sie auch verschiedene Phänomene. „*By extending this approach to cerebral specialization, therefore, it might be possible to subsume several previously disparate domains within a single, global framework*“¹¹ (Friedman & Polson 1981, 1056). Dieses theoretische Rahmenkonzept wird spezifiziert durch die Ansätze von Hirst & Kalmar bzw. Fracker & Wickens. Diese Ansätze werden im folgenden näher dargestellt.

Hirst & Kalmar (1987) versuchen eine Überprüfung der Charakterisierung von Kapazitätsressourcen durch drei Metaphern. Als Metaphern benutzen sie hierfür (a) Energie (fuel), (b) Struktur (structure) und (c) Fähigkeiten (skills). Die

⁹ die einfachste Version eines multiplen Ressourcenmodells, in welchem die Existenz und die Anzahl der Ressourcenpools an die anatomische Struktur des Gehirns angeglichen ist.

¹⁰ daß sowohl Daten aus Experimenten, die sich mit unterscheidenden und zusammenlaufenden Maßen der cerebralen Spezialisierung beschäftigen, als auch Daten von Experimenten, in denen die zerebrale Spezialisierung nicht von primären Interesse ist.

¹¹ Durch die Erweiterung dieses Ansatzes zur zerebralen Spezialisierung könnte es möglich sein, vorher unterschiedliche getrennte Fragestellung in ein einfaches globales Rahmenkonzept zu vereinigen.

Energiebereitstellung kann für verschiedene Stimuli aus verschiedenen Reservoirs bzw. Ressourcen erfolgen. Die Unterteilung in Strukturen erläutern sie dadurch, daß Interferenzen entstehen „... *when tasks place simultaneous demands on the same process or cognitive structure*“¹² (Hirst & Kalmar 1987, 68). Die Interferenzen durch die fehlende Fähigkeit zwischen zwei simultanen Aufgaben zu trennen, führt zu einer weiteren Charakterisierung. „*Proponents of a skill approach assume that the mind is a parallel processor par excellence and that difficulties with dual tasks arise in part because of the difficulty in keeping one line of parallel processing from interfering with another*“¹³ (Hirst & Kalmar 1987, 68). Im Rahmen von drei Experimenten variieren sie ihre Doppelaufgaben so, daß sie zu der Schlußfolgerung kommen, „... *an approach to divided attention that embraces all three metaphors may be necessary*“¹⁴ (Hirst & Kalmar 1987, 79).

Einen interessanten Hinweis zur strukturellen Trennung von Stimuli und der daraus folgenden Abnahme der Interferenz bringen die Ergebnisse der Untersuchung von Fracker & Wickens (1989). Sie belegen die Erklärung von Interferenzen durch drei Komponenten. Die ersten beiden Komponenten „*Ressource Competition*“ und „*Confusion*“¹⁵ sollen hier nicht näher behandelt werden, da sie Gegenstand in Kapitel 1.2.2 sind. Die dritte Komponente von Fracker & Wickens beinhaltet weiterhin noch „*incompatible task proximity between processing stages*“¹⁶. Sie verstehen unter dieser Komponente „... *the „psychological distance“ between tasks at a particular stage of processing*“¹⁷ (Fracker & Wickens 1989, 81). Sie weisen also darauf hin, daß in verschiedenen Phasen der Verarbeitung sich zwei Stimuli näher kommen bzw. sich voneinander entfernen können; daraus folgt, je näher sie zueinander kommen, desto stärker kann es zu Interferenzen zwischen den beiden Aufgaben kommen. Dies geschieht bspw. bei der Kopplung zweier Aufgaben, bei der mit der einen Hand Kreise auf den Bauch zu zeichnen und mit der anderen Hand auf den Kopf zu schlagen ist. Um diesen Konflikt zu lösen, wird ein Prozeß bei der Verarbeitung ausgelöst, den die beiden Autoren „*mapping operation*“¹⁸ nennen. Er sorgt dafür, daß beide Aufgaben trotz Interferenzen möglicherweise gelöst werden können. Die „*mapping operation*“ kann Einfluß sowohl auf die Leistung als auch auf die

¹² Wenn Aufgaben gleichzeitig Anforderungen an denselben Prozeß oder die kognitive Struktur stellen

¹³ Vertreter des Fähigkeitsansatzes nehmen an, daß das Gehirn ein ungewöhnlicher paralleler Prozessor ist, und die Leistungseinbußen bei Doppelaufgaben zum Teil sich aus der Schwierigkeit ergeben, die eine Linie der parallelen Verarbeitung von der Beeinflussung der anderen fernzuhalten.

¹⁴ Ein Ansatz für geteilte Aufmerksamkeit, der alle drei Metaphern verbindet, könnte notwendig sein

¹⁵ Wettkampf um Ressourcen und Vermischung

¹⁶ unvereinbare Aufgabennähe zwischen Verarbeitungsstufen

¹⁷ die „psychologische Distanz“ zwischen Aufgaben bei einer bestimmten Verarbeitungsstufe

¹⁸ Ordnungshandlung

Verarbeitungsdauer beider Aufgaben haben. Wenn man es auf eine allgemeinere Ebene von Stimulus-Response-Reaktionen überträgt, kann man diesen Prozeß der „mapping operation“ als Organisationsmechanismus zwischen Wahrnehmung und Handlung bezeichnen.

Bereits in den beiden letzten Ansätzen wird die Bedeutung der Struktur für die Charakterisierung der einzelnen Kapazitätenpools genutzt. Andere Autoren sehen die Rolle der Struktur zentraler als nur zur Charakterisierung von Kapazitäten. Sie argumentieren, daß die Struktur die zentrale Rolle beim Lernen von Bewegungen bzw. zur Erklärung von Interferenzen hat. Diese Modelle bzw. Ansätze sollen im folgenden Kapitel dargestellt werden.

1.2 Strukturelle Interferenz

Um die Ansätze der strukturellen Interferenz besser verstehen zu können, werden im folgenden erst einmal verschiedene Verarbeitungsmodelle erläutert. Aus diesen wird dann eine neue Kategorisierung der strukturellen Interferenzen abgeleitet, die sich aus der Kombination von Stimuli und Response ergibt.

1.2.1 Verarbeitungsmodelle

Die traditionellen Modelle (s. Abb. 3) gehen davon aus, daß ein Stimulus als ein Muster über die Rezeptoren in die zentrale Verarbeitungsstufe gelangt. In Abbildung 3 wird am Beispiel des Wahlreaktionsexperiments gezeigt, wie Informationen an das Gehirn geleitet werden, wenn ein rotes oder ein grünes Licht aufleuchtet. Dies wird innerhalb der zentralen Verarbeitungsstufe so übersetzt, daß ein motorischer Code entsteht, der über die Efferenzen als Muster in die beteiligten Körperteile geschickt wird, so daß es zur gewünschten Handlung kommt. Diese Übersetzung ist notwendig, da die visuellen Afferenzen nicht den Efferenzen entsprechen. In unserem Beispiel gibt das Gehirn den Fingern die Anweisung oder das Programm, entweder die rechte oder die linke Taste zu drücken. Man spricht in diesem Fall der Informationsverarbeitung von einer getrennten Codierung („Seperate Coding“).

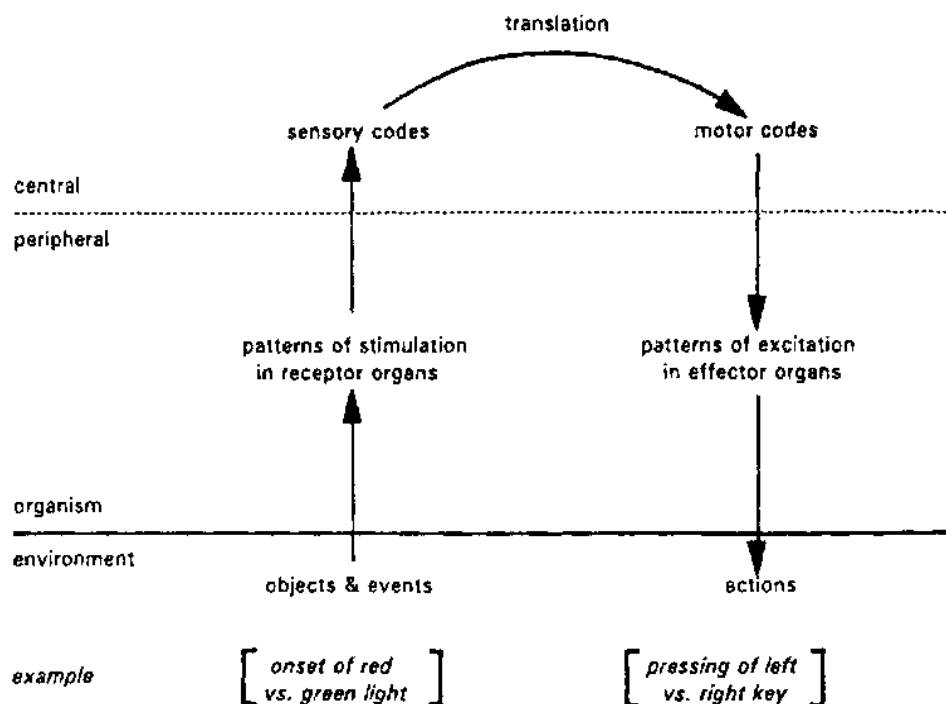


Abb. 3: Traditionelle Verarbeitungsmodelle (Prinz 1992, 3)

Im Gegensatz dazu integriert der Ansatz des „Common Codings“ eine Funktion, die die direkte Vermittlung zwischen Wahrnehmung und Handlung übernimmt. Diese ist notwendig, um Phänomene wie das synchrone „Mitttrommeln“ zu akustisch dargebotenen Rhythmen oder das gleichzeitige „Mitbewegen“ des Trainers zu Bewegungen seines Athleten zu erklären. Der Mechanismus des „Seperate Codings“ würde in diesem Fall davon ausgehen, daß der „Mittrommler“ immer einen kleinen Moment hinter dem tatsächlichen akustischen Reiz durch die Musik „mitttrommeln“ würde. Dies ist jedoch häufig nicht der Fall. Prinz erklärt solche Phänomene dadurch, daß „... *sensory and motor codes are not entirely incommensurate but rather share some common features*“¹⁹ (Prinz 1992, 4). Aus diesem Grund können die Afferenzen direkt Programme in die Efferenzen induzieren.

¹⁹ sensorische und motorische Codes nicht komplett unvereinbar sind, sondern einige gemeinsame Merkmale teilen.

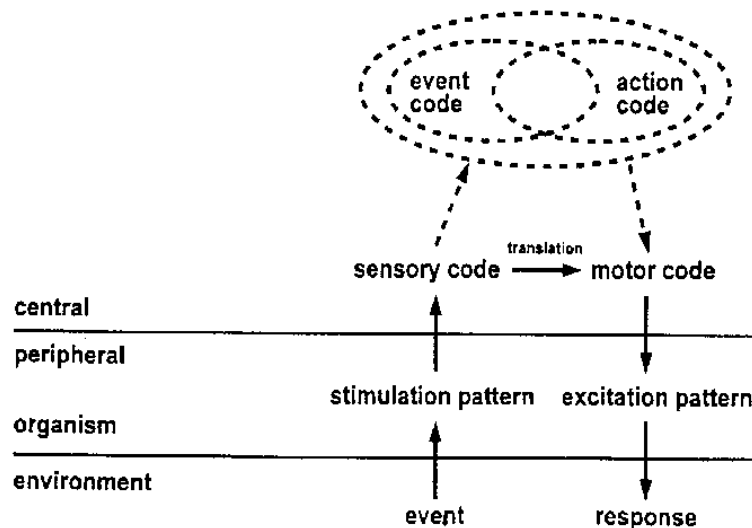


Abb. 4: Common Coding (Prinz 1997, 130)

Sie nutzen also den in der Abbildung gestrichelt dargestellten Mechanismus, der auf die Übersetzung verzichtet und damit schneller reagieren kann.

Aus diesem Ansatz leiten sich zwei Prinzipien ab (nach Prinz 1992, 4):

1. Die sensorische Wahrnehmung kann Handlungen induzieren.
2. Motorische Handlungen bzw. Handlungsplanungen beeinflussen die Wahrnehmung.

Prinz erläutert diesen Mechanismus, „... as an example, one could think of a sensory code of an auditory rhythmic pattern that attains the power to induce and to guide a corresponding motor pattern. ... The correspondence of the two codes might then be based on the isomorphism of the temporal pattern inherent in them“²⁰ (Prinz 1992, 4). Dieser „direkte Strukturzusammenhang“ wird bereits bei den Gestaltpsychologen zur Erläuterung von Imitationsbewegungen verwendet. Dieses Prinzip kann man durch empirische Befunde aus verschiedenen Forschungsbereichen belegen. Im folgenden sollen Beispiele aus der Interferenzforschung angeführt werden.

²⁰ zum Beispiel könnte man sich einen sensorischen Code mit einem auditiven rhythmischen Struktur vorstellen, daß die Möglichkeit bietet, ein korrespondierendes motorisches Muster zu induzieren und zu führen. ... Die Übereinstimmung der zwei Codes mag dann auf der gleichverlaufenden zeitlichen Struktur innerhalb der Codes basieren.

1.2.2 Eine neue Kategorisierung von strukturellen Interferenzen

Innerhalb dieser Interferenzexperimente werden Wechselwirkungen untersucht, die zwischen singularer Wahrnehmung und singularer Handlung entstehen können, d.h. es werden nur indirekte Aussagen über die in dem Experiment untersuchten Interferenzen zwischen zwei verschiedenen Stimuli gemacht. Interferenzen zwischen Stimulus und Response können in zwei (plus zwei)²¹ Kategorien eingeordnet werden.

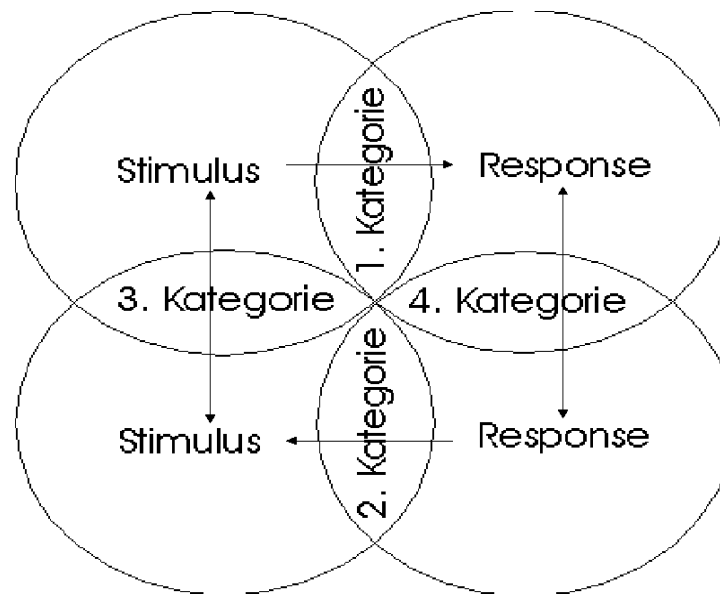


Abb. 5: Hypothetische S-S-R-R Interferenzkategorisierung

Die ersten beiden Kategorien werden von Prinz in seinem Ansatz beschrieben. Die Kategorien drei und vier basieren auf Überlegungen des Autors sowie auf Untersuchungen von Schmidtke & Heuer (1996) bzw. Heuer & Schmidtke (1997). Unter die *erste* Kategorie fallen Untersuchungen, in denen der Stimulus mit der Handlung bzw. Handlungsplanung interferiert. Dies geschieht dann, wenn simultan innerhalb der Verarbeitungsstufe ein wichtiger Stimulus aufgenommen, und dabei außerdem noch die nächste Handlung geplant werden muß. Müsseler (1995) untersucht diese Fragestellung mit mehreren Experimenten, in denen zunächst memoriert und dann eine Handlung ausgeführt werden muß. Der Proband sieht auf einem Bildschirm eine Sequenz von vier Pfeilen, die nach links oder rechts zeigen. Dieser Sequenz folgend soll er nach dem letzten Pfeil eine entsprechende Tastenkombination möglichst schnell eingeben. Sobald er die erste Taste gedrückt hat,

²¹ Die dritte und vierte Interferenzkategorie innerhalb dieser Aufteilung entstehen bei Doppelaufgaben, also bei doppelten Stimuli oder doppelten Reaktionen.

erscheint jedoch ein weiterer Pfeil, der an die vorher gezeigte Tastenkombination angehängt werden muß. In diesem Moment ist die Versuchsperson gezwungen, sowohl zu memorieren als auch Handlung zu planen, d.h. den weiteren Tastendruck vorzubereiten. In den Ergebnissen dieses Experiments sind Interferenzen dann zu beobachten, wenn sowohl die Memorierung als auch die Handlungsplanung sich auf die linke oder rechte Taste beziehen. Keine Interferenzen sind sichtbar, wenn die Memorierungsaufgabe ein Pfeil nach links und der Tastendruck rechts ist. Aus den Ergebnissen kann man folgern, daß nicht nur eine Interferenz zwischen Wahrnehmung und Handlung, sondern bereits zwischen Wahrnehmung und Handlungsplanung vorhanden sind. In diesem Fall wird deutlich, daß die für die zukünftige Handlung wichtige Wahrnehmung die momentane Handlungsplanung stört. Des weiteren sprechen die Ergebnisse dafür, daß „... *common coding is not restricted to temporal or spatial similarity between perception and action, but covers symbolic equivalence as well, thereby corroborating our previous conclusion about representational status of the codes involved*“²² (Prinz 1997, 149).

Die *zweite* Kategorie der Interferenz entsteht, wenn die Handlungsplanung und die Wahrnehmung simultan stattfinden, die Reaktion als wichtiger erachtet wird und daher bei der Wahrnehmung Leistungsveränderungen auftauchen. Diese Hypothese belegen Müsseler & Hommel (1997) mit ihrer Untersuchung zur „*blindness to response-compatible stimuli*“²³. Ihre Ergebnisse faßt Prinz wie folgt zusammen: „..., *we may therefore (a) reiterate and reinforce our basic assumption that our mental machinery disposes of common codes for perception and action, and (b) suggest the additional assumption that these codes cannot be used for both of these functions at the same time*“²⁴ (Prinz 1997, 152).

Unter die *dritte* Kategorie fällt das hier vorgestellte Experiment. Hier entstehen Interferenzen, wenn zwei Stimuli gleichzeitig verarbeitet werden müssen. Aus den Belegen der beiden ersten Kategorien sowie den Induktionsbelegen (vgl. Prinz 1992 & 1997) folgert Prinz „..., *these stimuli tend, by virtue of similarity, either to induce those actions or*

²² Gemeinsame Codierung ist nicht auf zeitliche oder räumliche Ähnlichkeiten zwischen Wahrnehmung und Handlung beschränkt, sondern beeinflusst auch die symbolische Äquivalenz, wodurch unsere vorherigen Schlußfolgerungen über die Verarbeitungscodes bekräftigt werden.

²³ Blindnis gegenüber Response-vergleichbaren Stimuli

²⁴ we möchten daher (a) unsere Grundannahme wiederholen und verstärken, daß unsere kognitive Verarbeitung gemeinsame Kodierung für Wahrnehmung und Handlung einrichtet und (b) die zusätzliche Annahme vorschlagen, daß diese Codes nicht für beide Funktionen zur gleichen Zeit genutzt werden können.

*interfere with them, depending on the structure of the task at hand*²⁵ (Prinz 1997, 152). Wenn man diese Schlußfolgerung für die dritte Kategorie weiterdenkt, so kann man leicht erkennen, daß es zwei Möglichkeiten bzgl. der Interferenz zwischen zwei Stimuli geben kann. Bei der *ersten* kommt es zu keinerlei Interferenzen, da die Stimuli *unterschiedliche* Strukturen aufweisen, die somit nicht miteinander interferieren können. Bei der *zweiten* weisen die beiden Stimuli *gemeinsame* Strukturen auf. Hier sollte es zu Interferenzeffekten kommen. Diese können entweder negativer Art sein (was sich durch serieller Verarbeitung äußern würde) oder sie können positive Folgen haben, nämlich dann, wenn die Strukturen einander so ähnlich sind, daß sie einander in einem synergetischen Effekt unterstützen und in Form eines Codes weiterverarbeitet werden. Der entstehende integrative Code hätte dann eine deutlichere Struktur und müßte somit besser bzw. genauer aufgenommen werden können. Diese „*Task-Integration-Hypothese*“ (Heuer & Schmidtke 1996, Schmidtke & Heuer 1997) ist Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Daß eine solche integrative Codierung von Reizen möglich ist, belegen auch die Experimente von Aschersleben & Prinz (1995) bzw. Aschersleben (1994). Für die *vierte* Kategorie sollten ähnliche Prädiktionen gemacht werden können. Sie sollen aber nicht Gegenstand dieser Arbeit sein. Sie könnten, wenn das vorliegende Experiment Belege für die Task-Integration-Hypothese liefert, Gegenstand weiterer Untersuchungen werden.

Die beschriebenen Ergebnisse können einerseits als Beleg für den „Common-coding-Ansatz“ interpretiert werden, andererseits wird auch deutlich, daß nicht nur Interferenzen zwischen Wahrnehmung und Handlung entstehen, sondern daß bereits Interferenzen zwischen der Wahrnehmung und der Handlungsplanung auftreten können. Dieser Zusammenhang ist u.a. Gegenstand eines von der DFG geförderten Projektes der Arbeitsgruppe von Prof. Prinz (Max-Planck-Institut für psychologische Forschung München). „*Ausgehend von einer Theorie der antizipativen Handlungssteuerung (vgl. Kap. 2.1) vermuten wir, daß Codes wahrgenommener sensorischer Verhaltenskonsequenzen (Feedback, Reafferenzen, aber auch artifizielle Handlungseffekte) mit derjenigen motorischen Kontrollstruktur, die diese Konsequenzen hervorbringen, in strukturelle Einheiten (Handlungskonzepte) integriert werden*“ ([Http://www.mpipf-muenchen.mpg.de/CA/PROJECTS/DFG_sensomotorik-g.html](http://www.mpipf-muenchen.mpg.de/CA/PROJECTS/DFG_sensomotorik-g.html)).

²⁵ Diese Stimuli tendieren dazu bei praktischer Ähnlichkeit entweder diese Handlungen zu induzieren oder mit ihnen zu interferieren, jeweils abhängig von der Struktur der zu bearbeitenden Aufgabe.

1.3 Das Wechselwirkungsmodell

Durch die oben erwähnte Integration von Wahrnehmungs- und motorischen Kontrollcodes kann es zu positiven Interferenzeffekten kommen. Diese werden zur Unterscheidung zwischen Wechselwirkungsmodellen und Doppeltätigkeitsmodellen genutzt, die *"in erster Linie die Leistungseinbuße bei Doppeltätigkeit"* (Heuer 1996, 195) betreffen. Viel wichtiger ist jedoch, daß das Wechselwirkungskonzept anders als die Doppeltätigkeitsmodelle die auftretenden Interferenzen nicht nur durch die gemeinsame „Hardware“ wie bspw. Prozessoren zu erklären versucht, sondern dafür auch die Struktur des Prozesses an sich mit einbeziehen.

Für die Wechselwirkungen bei gleichzeitigen Prozessen gibt es noch kein allgemeines Modell auf der begrifflichen Ebene. Es gibt allerdings einen begrifflichen Rahmen, der von Kinsbourne & Hicks vorgestellt wurde. Ihr Grundkonzept des *"functional cerebral space"*²⁶ (Kinsbourne & Hicks 1978, 345) basiert auf den zwei Aspekten der "strukturellen Beziehung" und der "Verarbeitungsbeziehung".

Die Stärke der strukturellen Beziehung wird über die Distanz innerhalb des funktionalen cerebralen Raumes erklärt. Innerhalb dieses abstrakten Raumes, in dem geistige Funktionen lokalisiert werden können, sinkt das Potential der Interferenz mit dem Abstand zwischen zwei Funktionen.

_____ f(a) _____ g(b) _____ z(c) _____

Wie man aus der Zeichnung erkennen kann, ist die Funktion f(a) näher an der Funktion g(b) als an der Funktion z(c). Die Interferenz zwischen f(a) und g(b) ist deshalb stärker als die zwischen f(a) und z(c). Die Entfernung läßt sich aber nicht als Gleichung eines euklidischen Raumes aufstellen, da die Wechselbeziehungen nicht notwendigerweise symmetrisch sind. Das Konzept des funktionellen cerebralen Raums kann auch nicht einfach auf den menschlichen Kopf übertragen werden, es weist aber durchaus Parallelen zu den anatomischen Gegebenheiten auf. Es ist grundsätzlich so, daß bei Aktivitäten, die in unterschiedlichen Hemisphären stattfinden, geringere Interferenzen zu finden sind als bei Aktivitäten, die in derselben Hemisphäre stattfinden. Daß Aktivitäten in unterschiedlichen Regionen des Kopfes verarbeitet werden, zeigen topographische Untersuchungen mit verschiedenen Methoden (s. Abb. 6).

²⁶ funktioneller cerebraler Raum

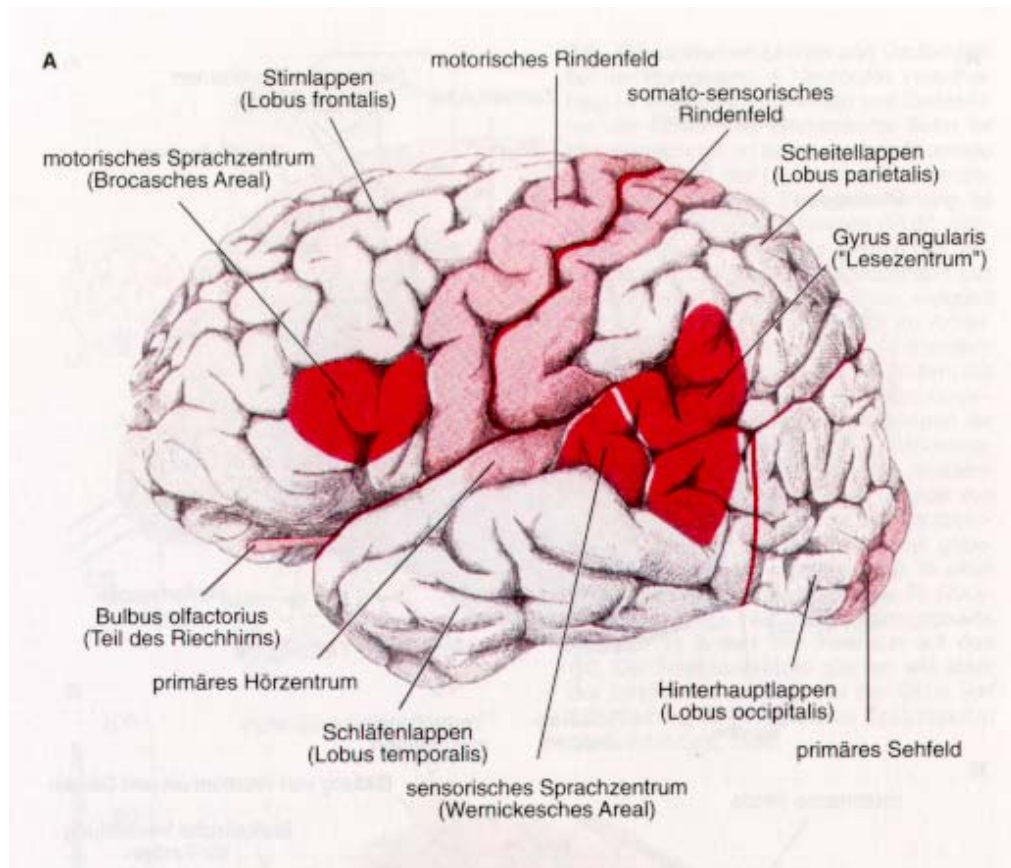


Abb. 6: Die Lokalisation verschiedener Funktionen im Cortex (nach Geschwind 1986 aus: Roth & Prinz 1996, 248 Farabbildungen XIII)

Man erklärt also die strukturelle Beziehung neben anderen Determinanten mit Hilfe der:

- 1) Unterschiedlichen Lokalisation von Funktionen auf der cerebralen Oberfläche.
- 2) Stärke der Verbindung zwischen den anatomischen Orten.

Die Verarbeitungsbeziehung von Kinsbourne & Hicks (1978) wird durch Vorgänge beschrieben, die entweder identischen oder beziehungslosen cerebralen Programmen entsprechen.

$$\text{f(a)} + \text{f(b)} - \text{g(c)}$$

Wenn diese Programme (=Funktion) identisch sind (in der Zeichnung: f(a) & f(b)), kann dies bei einer kleinen Distanz innerhalb des funktionalen cerebralen Raumes die Doppeltätigkeitsleistung fördern (+). Sind die Programme dagegen beziehungslos (f(b) & g(c)), so kommt es zu starken Leistungseinbußen (—). Heuer (1996) faßt diese beiden Prozesse so zusammen: *"Je höher die strukturelle Trennung von zwei Aufgaben ist, desto schwächer werden die Wechselwirkungen zwischen zwei gleichzeitigen Prozessen sein; die Wechselwirkungen können die Leistungen beeinträchtigen oder fördern, je nachdem, ob sie zwischen verschiedenen oder gleichen Prozessen ablaufen (oder zwischen Prozessen, die verschiedene oder gleiche Daten erzeugen)"* (Heuer 1996, 197).

Für das Wechselwirkungskonzept gibt es mehrere Evidenzen. Hier kann man zum einen in *direkte* oder *indirekte*, zum anderen in *qualitative* oder *quantitative* Belege (nach Heuer 1996) unterteilen. Ein Alltagsbeispiel, das eine qualitative Manifestation ist, kann man bei vielen Wissenschaftlern beobachten. So antwortet der Wissenschaftler häufig, wenn er gerade mit dem Schreiben seiner Unterschrift beschäftigt ist, auf Fragen seiner Sekretärin mit dem eben Geschriebenen, statt auf die tatsächliche Frage einzugehen. Diese „Gedankenlosigkeit“ zeigt, daß zwar beide Stimuli ankamen, die Antwort aber durch die andere Aufgabe geprägt wurde. Shaffer (1975) berichtet hierzu von einem Experiment, in dem Versuchspersonen, während sie einen Text tippen, einen vorgesprochen Text wiederholen müssen. Hierbei kommt es zu Intrusionen, ohne daß eine Systematik erkennbar wäre.

Quantitative Belege, für das Konzept der Wechselwirkungen, die Kontrastphänomene zeigen würden, sind nach Heuer (1996) keine bekannt. Man kann jedoch die kompletten Untersuchungen zur Kopplung einer solchen Richtung entsprechend interpretieren. So ist z.B. bei der Untersuchung von Kelso, Southard & Goodman (1979) die Zeitdauer bei zwei Zielaufgaben bei simultaner Ausführung gleich, obwohl sie einzeln eine unterschiedliche Zeitdauer benötigen. Die bisher dargestellten Untersuchungen und Beispiele sind direkte Evidenzen. Indirekte Belege sind alle Untersuchungen, in denen es zu einer Verlängerung der Reaktionszeit bzw. zu einer längeren Zeitdauer von Prozessen kommt. In den Fällen ist meist eine genaue Bewegungsausführung möglich, wobei sich jedoch die Zeitdauer verlängert. Im ungünstigsten Fall käme es zur additiven Zeitdauer der einzelnen Aufgaben. Im Bereich der Motorik gibt es hierfür viele Bewegungen als Beispiele, bei denen zwei Bewegungen gekoppelt werden müssen: Sei es beim Delphinschwimmen (Beinschlag und Armzug) oder beim Handball (Beobachtung der Bewegungen von Torwart und Abwehrspieler). Dies ist auch an einfachen Beispielen nachvollziehbar. So ist es fast unmöglich, mit der einen Hand auf dem Bauch einen Kreis zu zeichnen und mit der anderen Hand auf dem Tisch ein Quadrat. Ein weiteres Beispiel ist das Experiment zur gegenläufigen Zeigefingerbewegung, das Heuer (vgl. Kelso 1984) auf dem dvs-Symposium „Motorik und Struktur“ 1995 in Erfurt gezeigt hat. Bei dieser Aufgabe versucht man, den Zeigefinger immer von der Streckung senkrecht über die Beugung in die Streckung waagrecht und wieder zurückzuführen. Macht man dies mit beiden Händen parallel, so ist es kein Problem, diese Doppelaufgabe zu bewältigen. Versucht man es allerdings versetzt, bekommt man Probleme. Bei den vorgestellten Beispielen handelt es sich um periodische Bewegungen. Sie bleiben solange leicht lösbar, wie man die Phase mit

$\frac{1}{2}$ oder 1 koppelt. Weitere Kopplungsphasen sind zum Beispiel bei Musikern möglich, die Geräte der Rhythmusgruppe spielen. Sie können meist problemlos $\frac{3}{4}$ Phasen vollziehen. Bei nicht periodischen Bewegungen koppelt der Proband beide Bewegungen so, daß sie eine einheitliche Zeitdauer haben (vgl. Kelso et al. 1979).

1.4 Diskussion

Die Gliederung der dargestellten Modelle und Ansätze geht von einer Dichotomie aus, um die Unterschiede besser darstellen zu können. Diese Dichotomie ist aber, wie in vielen Fällen, als solche nicht haltbar. Offensichtlich gibt es so etwas wie Kapazitätsinterferenzen und auch strukturelle Interferenzen (vgl. Neumann 1992, 91). Man müßte also eigentlich von einem neuen Modell ausgehen, daß Heuer wie folgt beschreibt: *„Ein nützliches hybrides Modell wäre möglicherweise ein Modell generalisierter zentraler Kapazität, das nicht nur die Existenz struktureller Interferenz anerkennt, sondern um das Konzept der Wechselwirkungen (und spezifische Modelle dafür) ergänzt ist“* (Heuer 1996, 206). Dieses Modell zu entwickeln, kann und wird nicht Aufgabe dieser Zulassungsarbeit sein. Vielmehr geht es darum, die Möglichkeiten und Chancen der beiden Theorierichtungen für die Sportwissenschaft zu erweitern. Die für die Kapazitätsinterferenzen dargestellten Modelle können in der Sportwissenschaft für die Überprüfung von Automatismen (vgl. bspw. Daus & Blischke 1992) eingesetzt werden, sie sind aber nicht geeignet leichteres Lernen zu erklären, da sie immer nur von negativen Leistungseffekten bei Doppelaufgaben ausgehen. Die Wechselwirkungsmodelle unterscheiden sich hier von den Kapazitätsmodellen. Nach ihnen ist ein positiver Leistungseffekt theoretisch möglich. Über die Wechselwirkungsmodelle kann man also praktische Konzepte entwickeln, die eine Förderung des Lernens durch Doppelaufgaben möglich machen. Eine Möglichkeit hierfür könnte die Task-Integration-Hypothese von Heuer & Schmidtke (1996) sein. Da die Wechselwirkungsmodelle ebenso wie verschiedene Lernmodelle über die Struktur argumentieren, wird in der vorliegenden Untersuchung in der weiteren Darstellung von der Struktur als der wesentliche Faktor für Interferenzen ausgegangen. Diese Vorannahme wird ebenso im Rahmen dieser Untersuchung noch experimentell überprüft. Für diese Vorannahme sprechen aber auch die Ergebnisse der Experimente von Heuer & Schmidtke (1996) und Schmidtke & Heuer (1997).

2 Lernen & Struktur

In diesem Kapitel soll zunächst eine allgemeine Lerntheorie vorgestellt werden, die das Rahmenkonzept für die einzelnen Lernmodelle bilden soll. Danach soll der „besondere“ Fall des impliziten Lernens aus globaler und spezifischer Sicht dargestellt werden. Nach der „Urdefinition“ von Reber wird in der globalen Betrachtung die aktuelle Diskussion zur Unterscheidung von implizitem und explizitem Lernen aufgezeigt. In der spezifischen Betrachtungsweise werden Untersuchungen zum Sequenzlernen dargestellt, da diese am stärksten die Frage der Struktur bzw. mit der Frage der Aufmerksamkeit miteinbeziehen. Im Anschluß werden dann motorische Lerntheorien betrachtet. Hier soll insbesondere das Modell der generalisierten motorischen Programme und Schmidt's Schematheorie mit ihren Erweiterungen dargestellt werden. Die Untersuchungen zum impliziten motorischen Lernen werden anschließend als Schnittmenge der beiden spezifischen Theoriefelder dargelegt. In der abschließenden Diskussion wird dann versucht die einzelnen Modelle und Ergebnisse wieder in das ursprüngliche Rahmenkonzept zusammenzudenken.

2.1 Eine allgemeine Lerntheorie

Als allgemeine Lerntheorie wird Hoffmann's Theorie der antizipativen Verhaltenskontrolle gewählt, die Hoffmann (1993) in seinem Buch „Vorhersage und Erkenntnis“ beschreibt. Hoffmann betrachtet hierin zunächst die verschiedenen Theorieansätze seit dem Ende des letzten Jahrhunderts und zieht daraus folgende Grundgedanken: “

1. *Wahrnehmung und Verhalten, Reiz und Reaktion, Afferenzen und Efferenzen bilden insofern eine funktionale Einheit, als sie sich wechselseitig bedingen; (intentionales) Verhalten hängt von den gegebenen Wahrnehmungen ab, so wie Wahrnehmungen von den jeweils verfolgten Intentionen bestimmt werden.*
2. *Der Zusammenhang zwischen Wahrnehmung und Verhalten wird durch die Tatsache gestiftet, daß bestimmte Verhaltensweisen mit bestimmten Veränderungen von Reizeinwirkungen gesetzmäßig zusammenhängen, so daß Veränderungen von Reizeinwirkungen und die sie bewirkenden Verhaltensakte in den Grenzen dieser Gesetzmäßigkeiten aufeinander abgebildet werden.*
3. *Der psychologische Mechanismus, der diese Zusammenhänge für eine Kontrolle des Verhaltens und für die Interpretation (Wahrnehmung) von Reizeinwirkungen nutzt, ist*

die Erinnerung, Antizipation, anschauliche Vorstellung oder Markierung der mit der Ausführung von Verhaltensakten verbundenen Reizeinwirkungen“ (Hoffmann 1993, 37).

Wenn sich Wahrnehmung und Handlung gegenseitig bedingen, stellt sich die Frage, wie dies abläuft. Anders ausgedrückt: Mit welchen Mechanismen ist dies möglich? Hoffmann stellt die Hypothese auf, daß es sich dabei um den Mechanismus der *antizipativen Verhaltenssteuerung* handelt. Er begründet dies mit dem „*Bedürfnis nach effektiver Verhaltenskontrolle*“ (Hoffmann 1993, 41). Diese ist notwendig, da „...*nur, wenn man weiß, zu welchen Konsequenzen das eigene Verhalten führt, so hat schon William James argumentiert, kann man es zielgerichtet einsetzen*“ (Hoffmann 1993, 40). D.h., intentionales Handeln, wie z.B. das Greifen eines Balles, ist nur dann möglich, wenn die handelnde Person weiß, wie sich der Ball anfühlen wird und ob er überhaupt mit einer Hand greifbar ist. „*Eine effektive Verhaltenssteuerung setzt also unabdingbar Wissen darüber voraus, welche Verhaltensweise zu welchen Konsequenzen unter welchen Bedingungen führen, ...*“ (Hoffmann 1993, 40). Der junge unerfahrene Handballspieler wird ohne Regelwissen den Rückpaß zum Torhüter spielen, ohne die Konsequenz der 7-m Entscheidung zu antizipieren. Er kann sich also für die Mannschaft nicht effektiv verhalten. Der erfahrene Handballtrainer, der die Konsequenzen seines Handelns weiß bzw. antizipieren kann, wird dagegen effektiv handeln können und bewußt bestimmte Konsequenzen (wie z.B. Spielunterbrechungen) provozieren.

Doch zurück zu unserem jungen, unerfahrenen Handballspieler. Wem dieser Fehler in seiner Jugend einmal passiert ist und die „Schelte“ seiner Mitspieler abbekommen hat, wird das Bedürfnis verstehen, seine Handlungen sinnvoll planen zu können. In Hoffmann's Terminologie gefaßt kann man nachvollziehen, daß ein Bedürfnis nach effektiver Verhaltenskontrolle existiert (vgl. auch Hoffmann 1993, 41ff). „*Die sichere Vorhersagbarkeit der Verhaltenseffekte erzeugt demgegenüber Kompetenz und Selbstsicherheit, eben das Gefühl, die Situation zu beherrschen und nicht, ihr ausgeliefert zu sein* (Hoffmann 1993, 42). Mit Hilfe des Mechanismus der antizipativen Verhaltenskontrolle ist es möglich, diese Konsequenzen vorherzusehen und damit aus ihnen zu lernen.

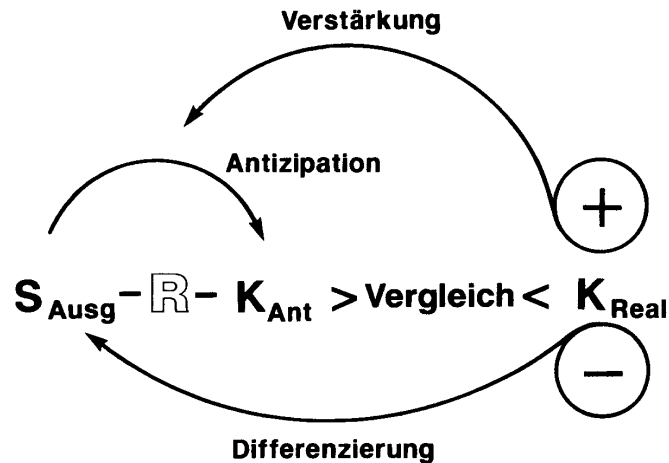


Abb. 7: Hypothetischer Mechanismus der antizipativen Verhaltenskontrolle (Hoffmann 1993, 44)

Diesen hypothetischen Mechanismus kann man sich schematisch etwa so vorstellen (s. Abb. 7), daß das Verhalten (R) immer durch die Antizipation der Ausgangssituation (S_{Ausg}) und den zu erwartenden Konsequenzen (K_{Ant}) reguliert wird. Diese antizipierten Konsequenzen (K_{Ant}) werden mit den wirklichen Konsequenzen (K_{Real}) verglichen. Kommt es zu einer positiven Übereinstimmung, bekräftigt dies die getroffenen Antizipationen (=Verstärkung). Kann allerdings keine Übereinstimmung festgestellt werden, wird eine Differenzierung vorgenommen, so daß bei der nächsten Antizipation eine andere bzw. eine bzgl. der Wahrscheinlichkeit differenzierte Konsequenz erwartet wird. Wenn wir uns dem Handballspiel als Beispiel wieder zuwenden, wird der erfahrene Spieler in den ersten Angriffen des Gegners die mögliche Härte seines Abwehrspiels testen. Er antizipiert einen erlaubten Grad an Härte und überprüft diese anhand der Schiedsrichterreaktion. Reagiert der Schiedsrichter nicht (=Verstärkung), so kann der Abwehrspieler im nächsten Angriff des Gegners noch stärker „zupacken“. Kommt es dagegen zu einer Verwarnung (=Differenzierung), wird er sein Abwehrverhalten der Schiedsrichterreaktion anpassen. In diesem Beispiel handelt es sich um eine explizite Belehrung des Schiedsrichters. Es ist aber leicht einsichtig, daß diese Belehrungen in den meisten Fällen implizit stattfinden, „... da die Verhaltenseffekte zwangsläufig eintreten“ (Hoffmann 1993, 48).

Man kann an diesem Beispiel außerdem erkennen, daß es möglich ist über dieses Modell Lernprozesse zu erklären. Wie würde ein solcher Lernmechanismus aussehen? „Ein Lernmechanismus mit solchen Eigenschaften würde zwangsläufig zu einer Differenzierung von Situationsbedingungen nach den mit oder in ihnen erlebten Verhaltenskonsequenzen führen, und er würde gleichzeitig bewirken, daß die invarianten Konsequenzen des Verhaltens in Abhängigkeit von den Bedingungen, unter denen es realisiert wird, immer sicherer antizipiert und damit auch kontrolliert werden können“ (Hoffmann 1993, 45). In

diesem Fall würden die „... *Antizipationen Wissen um Gesetzmäßigkeiten repräsentieren*“ (nach Hoffmann 1993, 48). *„In diesem Wissen spiegeln sich dann notwendigerweise diejenigen Eigenschaften und Strukturen der Umwelt wieder, die für einen erfolgreichen Einsatz der Verhaltensmöglichkeiten des Organismus relevant sind“* (Hoffmann 1993, 54). Daß ein solcher Mechanismus evolutionär sinnvoll ist, kann man sich folgendermaßen überlegen: *„Ohne Fähigkeit zur Antizipation von Verhaltenskonsequenzen ist ein Organismus den Reizbedingungen in seiner Umwelt insofern ausgeliefert, als er sich darauf beschränken muß, zu lernen, auf sie angemessen zu reagieren“* (Hoffmann 1993, 54). Daß der Mensch immer nur auf seine Umwelt reagiert, widerspricht unserer Vorstellung ein selbst planendes und agierendes Individuum zu sein. Mit der Fähigkeit der antizipativen Verhaltenskontrolle reagiert der Mensch *„...nicht länger auf seine Umwelt, sondern er bildet mit ihr eine Einheit, in dem er sie, entsprechend seinen Verhaltensmöglichkeiten und nach seinen Bedürfnissen, gestaltet“* (Hoffmann 1993, 54). Es erscheint also *„...durchaus wahrscheinlich, daß sich unter dem Druck der Evolution die Antizipation von Verhaltenskonsequenzen als ein Mechanismus gebildet hat...“* (Hoffmann 1993, 55).

2.2 Theorien des impliziten Lernens

Das Lernmodell Hoffmann's macht, soweit dargestellt, keinerlei Aussagen über die Notwendigkeit von Bewußtsein. Innerhalb der modernen Lernforschung spielt aber das Bewußtsein eine große Rolle. So ist in den letzten dreißig Jahren ein starkes Interesse am Phänomen des impliziten Lernens festzustellen. Diese Forschung läßt den Traum vom *„Lernen im Schlaf“* (Buchner 1993, V) wieder aufleben. Interessant ist dabei, daß der Ansatz, den Lernmechanismus aus der Sicht der Evolution zu betrachten, sowohl bei Hoffmann als auch bei Reber, dem ersten Vertreter der impliziten Lernforschung, gegeben ist.

2.2.1 Globale Betrachtung des impliziten Lernens

Reber charakterisiert (bzw. definiert) implizites Lernen über fünf verschiedene Aspekte:.,

- 1) *Robustness: Implicit learning and implicit memories should be robust in the face of disorders and dysfunctions that compromise explicit learning and explicit memory.*
- 2) *Age independence: As compared with explicit learning, implicit acquisition processes should show few effects of age and developmental level.*

- 3) *Low variability: The capacity to acquire knowledge implicitly should show little in the way of individual-to-individual variation. Population variances should be much smaller when implicit learning processes are measured than when explicit processes are.*
- 4) *IQ independence: Unlike explicit processes, implicit tasks should show little concordance with measures of „intelligence“ assessed by standard psychometric instruments such as the commonly used IQ tests.*
- 5) *Commonality of process: The underlying processes of implicit learning should show cross-species commonality“²⁷ (Reber 1993, 88).*

Diese Definition, die sich auf die scheinbar gesicherten Aspekte beschränkt, versucht ein Phänomen zu beschreiben, daß in den verschiedensten Bereichen gefunden wurde. Um sich diese Bandbreite einmal vor Augen zu führen, kann man Tabelle 1 betrachten. Sie zeigt einige der dem Verfasser bekannten Bereiche der impliziten Lernforschung und ihre wichtigsten Vertreter auf.

Tab. 1: Einige experimentelle Evidenzen für die Existenz impliziter Lernprozesse (nach Berry 1994)

Wichtigste Vertreter	Bereiche
Reber & Milward (1968)	Wahrscheinlichkeitslernen
Berry & Broadbent (1984)	Kontrolle von komplexen Systemen
Nissen & Bullemer (1987)	Ereignissequenzlernen
Magill (1990)	Motorisches Lernen
Ellis (1993)	Zweitsprachenlernen
Weinert (1991)	Spracherwerb

²⁷ 1) Stabilität: Implizites Lernen und implizites Gedächtnis sollten stabil sein gegenüber Störungen und Fehlfunktionen die explizites Lernen und explizites Gedächtnis beeinträchtigen.
 2) Altersunabhängigkeit: Verglichen mit explizitem Lernen zeigen implizite Aneignungsprozesse weniger Einflüsse durch Alter und Entwicklungsstufen.
 3) Geringe Streuung: Die Möglichkeit Wissen implizit zu erlangen, sollte eine geringe interindividuelle Streuung zeigen. Die Populationsstandardabweichung sollte wesentlich geringer sein, wenn implizites Lernprozesse gemessen werden als bei expliziten Prozessen.
 4) Intelligenzquotientenunabhängigkeit: Anders als explizites Prozesse sollte bei impliziten Aufgaben nur eine geringe Korrelation zu Maßen der „Intelligenz“ gegeben sein, die durch standardisierte psychometrische Instrumente, wie den normalerweise verwandten Intelligenztest, erhoben worden sind.
 5) Allgemeinheit der Prozesse: Die ausführenden Prozesse des impliziten Lernens sollten über die Spezies gleich bleiben.

Wenn man diese schon reduzierte Bandbreite der Forschungsbereiche²⁸ betrachtet, liegt es auf der Hand, daß es einiges an aktuellem Diskussionsstoff zur Definition von implizitem Lernen geben muß. Die exakte Definition oder anders gesagt die Abgrenzung von implizitem Lernen vs. explizitem Lernen, wie sie im ersten Charakteristikum angesprochen ist, ist hierbei noch heute eines der aktuellen Diskussionsthemen.

Shanks & St. Johns (1994) versuchen dies durch zwei Kriterien bezüglich des impliziten Wissens zu tun. Das *erste* Kriterium wird als „*information criterion*“²⁹ bezeichnet. Dies weist daraufhin, daß genau das Wissen abgetestet werden soll, das für die Verhaltensänderung zuständig ist. Das *zweite* Kriterium, das „*sensitivity criterion*“³⁰ fordert dazu auf, daß das komplette relevante explizite Wissen durch die Tests abgeprüft werden soll. Dienes & Berry (1997a) schlagen eine andere Möglichkeit für Unterscheidungskriterien vor. Sie wollen über die subjektive Schwelle (thresholds) die Separation vornehmen. Der Begriff der objektiven und subjektiven Schwelle wird von Reingold & Merikle (1988) in die Kognitionspsychologie eingeführt. Die subjektive Schwelle ist „... *the point at which subjects do not know that they know there was a stimulus presented*“³¹ (Dienes & Berry 1997a, 4). Die objektive Schwelle dagegen ist „... *the point at which subjects do not know that a stimulus was presented*“³² (Dienes & Berry 1997a, 4). Diese subjektive Schwelle schlagen Dienes & Berry als Unterscheidungsmöglichkeit von implizitem und explizitem Wissen vor. Als Belege dafür führen sie sowohl Befunde aus Untersuchungen des Grammatiklernens, der Kontrolle von komplexen Systemen und des Ereignissequenzlernens als auch neuropsychologische Befunde aus Untersuchungen mit verschiedenen Krankheitsbildern wie z.B. Amnesie an. Komplette anderer Ansicht sind in diesem Diskussionspunkt Perruchet, Vinter & Gallego (1997). Sie bringen einen neuen Ansatz zur Debatte, in dem die Unterteilung von explizitem und implizitem Lernen unnötig wird. Dieser Ansatz beruht darauf, daß die „... *improved performance depends on the action of an unconscious mechanism that structure the phenomenal, conscious experience of the world*“³³ (Perruchet et al. 1997, 43). In ihrem Ansatz wird dieser Leistungsunterschied nicht durch das implizite Lernen, welches es ihrer

²⁸ Für eine ausführliche Betrachtung vgl. BISP 1997.

²⁹ Informationskriterium

³⁰ Empfindungskriterium

³¹ der Punkt, an welchem Probanden nicht wissen, daß sie wissen, daß ein Stimulus gezeigt wurde.

³² der Punkt, an welchem Probanden nicht wissen, daß ein Stimulus gezeigt wurde.

³³ verbesserte Leistung von der Handlung eines unbewußten Mechanismus abhängt, welcher die phänomenalen bewußten Erfahrungen der Umwelt strukturiert.

Meinung nach überhaupt nicht gibt, sondern durch die bewußte Wahrnehmung und Repräsentation der Umwelt verursacht.

Stadler (1997) wiederum versucht eine qualitative Unterscheidung zu erreichen und bringt einen neuen Ansatz in die Debatte ein. Er unterscheidet implizites Lernen über die Intention vom expliziten Lernen. Er benutzt dazu einen Ansatz von Wickelgren (1979), dessen Hauptidee darauf beruht, daß „... *implicit, unintentional learning is based on horizontal associations, whereas explicit, intentional learning consists of the formation of vertical associations*“³⁴ (Stadler 1997, 60). Die horizontalen Verbindungen könnten durch die häufige Verbindung von Ereignissen bspw. Lernerfolg beim Ereignissequenzlernen erklärt werden. Die vertikalen Verbindungen würden dann das „Chunking“³⁵ übernehmen, bei dem mehrere Einzelverbindungen durch eine Verbindung repräsentiert werden.

Dieser Repräsentationsansatz führt zum nächsten Hauptdiskussionpunkt. Wie wird das (implizit) gelernte denn überhaupt repräsentiert? Neal & Hesketh (1997a) schlagen vor, daß „... *dissociations between task performance and declarative knowledge reflect differences in the retrieval cues and processing operations used for the two tasks, rather than the operation of conscious and unconscious forms of information processing*“³⁶ (Neal & Hesketh 1997a, 34). Ihr Ansatz, die Leistungsunterschiede bei prozeduralem und deklarativem Wissen zu erklären, geht davon aus, daß es nicht der Lernprozeß ist, der den Unterschied verursacht. Sie diskutieren hierfür verschiedene (z.B. episodische oder fragmentarische) Repräsentationsformen und kommen zu der Hypothese, daß der episodische Ansatz richtig sei. Reber (1997) hält dagegen auf Grund der Transfertestergebnisse sowohl „*analogical/episodic*“³⁷ (Reber 1997, 52) als auch „*fragmentary/episodic*“³⁸ (ebd.) Wissensrepräsentationen für möglich. Da dies noch aktuelle Diskussionsthemen sind, beschränkt sich der Autor für diese Untersuchung auf die grundlegende Definition von Reber und versucht die hier angesprochenen Aspekte zumindest teilweise zu belegen.

³⁴ Implizites, inzidentelles Lernen auf horizontalen Assoziationen basiert, während explizites, intentionales aus der Bildung von vertikalen Assoziationen besteht.

³⁵ Chunk = „Klumpen“

³⁶ Dissoziationen zwischen Aufgabenleistung und deklarativem Wissen zeigen eher Unterschiede zwischen den nochmaligen Hinweisen und den Verarbeitungsprozessen, die für die beiden Aufgaben genutzt werden, als die bewußten und unbewußten Formen der Informationsverarbeitung.

³⁷ ähnlich / episodisch

³⁸ fragmentarisch / episodisch

2.2.2 Spezifische Betrachtung des impliziten Lernens

Im folgenden soll nun von diesem globalen Aspekt zu einem spezifischeren Teil des impliziten Lernens dem Forschungszweig des Sequenzlernens geblickt werden. Dabei soll sogleich das implizite Lernen mit dem Aspekt der Aufmerksamkeit in Zusammenhang gebracht werden. Das typische Ereignissequenzlernexperiment ist so aufgebaut, daß der Proband vor einem Bildschirm sitzt, auf dem vier horizontal angeordnete Sterne in einer bestimmten Reihenfolge aufleuchten. Die Aufgabe der Versuchsperson ist es, auf einer Tastatur die der Position des Sterns zugeordneten Taste (bspw. "v"b"n"m") so schnell wie möglich zu drücken. Danach erscheint der nächste Stern und der Proband hat wieder die gleiche Aufgabe. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Untersuchungen zum Ereignissequenzlernen unter Doppelaufgabenbedingungen.

Tab. 2: Untersuchungen zum Ereignissequenzlernen mit Doppelaufgaben

Autoren und Jahr	2. Aufgabe
Nissen & Bullemer 1987	Töne zählen
Cohen, Ivry & Keele 1990	Töne zählen
Curram & Keele 1993	Töne zählen
Reed & Johnson 1994	Töne zählen
Stadler 1995	Töne zählen oder Buchstaben behalten
Heuer & Schmidtke 1996	Exp. 1: Töne zählen Exp. 2: Ton hören und Pedal treten oder Erinnerungsaufgabe
Schmidtke & Heuer 1997	Ton hören und Pedal treten

Die Grundlage für die weiteren Untersuchungen liefert der Artikel von Nissen & Bullemer (1987). Sie untersuchen in vier Experimenten, ob:

1. *Implizites Lernen von Ereignissequenzen nachweisbar ist.*
2. *Implizites Lernen unter Doppelaufgabenbedingungen stattfindet.*
3. *Implizites Lernen unter Doppel- auch unter Einzelaufgabenbedingungen abrufbar ist.*
4. *Implizites Lernen dieser Sequenz auch bei amnesischen Patienten sichtbar ist.*

(nach Nissen & Bullemer 1987)

Bei den Experimenten mit Doppelaufgabe nutzen sie eine Tonzählaufgabe (vgl. Broadbent 1952) als Zweitaufgabe. Der Proband muß dabei die hohen Töne zählen und die niedrigen Töne ignorieren (bzw. beschatten). Aus den Ergebnissen der Untersuchungen (s. Nissen &

Bullemer 1987) lassen sich verschiedene Schlußfolgerungen ziehen. Nach den Ergebnissen betrachtet, scheint es, daß Lernen zwar „... *without being aware of it, but not without attending to the task itself*“³⁹ (Nissen & Bullemer 1987, 29) stattfinden kann. Eine andere Schlußfolgerung bezieht sich auf den Zusammenhang von Aufmerksamkeit und implizitem Lernen. Die Autoren kommen zu der Überzeugung, daß die Lernmechanismen „... *are strongly dependent on attentional processing*“⁴⁰ (Nissen & Bullemer 1987, 27). Für diese Hypothese führen sie die folgenden vier Belege an:“

1. *Die Probanden unter Doppelaufgabenbedingungen mit wiederholter Sequenz verbesserten sich nicht gegenüber der Einzelaufgabengruppe mit randomisierter Sequenz.*
2. *Zwischen diesen beiden Gruppen kann kein Unterschied im Generierungstest festgestellt werden.*
3. *Nach einer Doppelaufgabenaneignungsphase mit wiederholten Sequenzen sind die Reaktionszeiten bei wiederholten Sequenzen nicht schneller als bei randomisierten Sequenzen.*
4. *Nach einer Doppelaufgabenaneignungsphase sind die Reaktionszeiten nicht schneller als bei Gruppen ohne vorherigem Treatment“* (nach Nissen & Bullemer 1987, 27).

Die Ergebnisse dieser Studie ermutigen Cohen, Ivry & Keele (1990) zu einer Nachfolgeuntersuchung, die sich mit drei möglichen Einflußfaktoren des impliziten Lernens beschäftigt. Als mögliche Faktoren sehen Cohen, Ivry & Keele die Aufmerksamkeit, die Struktur der Sequenz und die Effektorspezifität. Die Resultate ihrer vier Experimente zeigen deutlich, daß der Lernerfolg unabhängig von der Effektorspezifität ist. Ebenso weisen die Ergebnisse darauf hin, daß implizites Lernen bestimmter Sequenzen auch unter geteilten Aufmerksamkeitsbedingungen stattfinden kann. Die Autoren weisen daraufhin, daß selbst „... *increased attentional demand left structured sequence learning unaffected, suggesting that such learning can occur with less attention being available between the successive stimuli*“⁴¹ (Cohen, Ivry & Keele 1990, 27). Diese den Ergebnissen von Nissen & Bullemer (1987) widersprechenden Resultate interpretieren sie einerseits über die Sequenz, die sie so gestaltet haben, daß auf einen

³⁹ ohne direkte Bewußtseinszuwendung, aber nicht ohne Zuwendung zur Aufgabe selbst

⁴⁰ stark von der Aufmerksamkeitszuwendung abhängen

⁴¹ erhöhte Aufmerksamkeitsanforderungen das strukturierte Ereignissequenzlernen nicht beeinflußt; mit dem Vorschlag, daß dieses Lernen mit wenig Aufmerksamkeit zwischen den aufeinanderfolgenden Stimuli stattfinden kann.

Stimulus immer ein bestimmter anderer Stimulus folgt, und andererseits darüber, daß die Input- und die Outputmodalitäten der beiden Aufgaben sich unterscheiden.

Die Ergebnisse bezüglich der Aufmerksamkeitsabhängigkeit des impliziten Lernens verfolgt Keele mit seiner Mitarbeiterin Jennings (Keele & Jennings 1992) weiter. Sie versuchen die stattfindenden Prozesse mit Hilfe eines konnektionistischen Modells von Jordan (1990) zu modellieren. Sie können zeigen, daß „... *a distracting secondary task greatly reduces learning of sequences with repeated events that occur in different orders in different parts of a sequence. The same distracting task has a lesser effect on sequences with some unique events*“⁴² (Keele & Jennings 1992, 136f.). Sie kommen außerdem dabei zu der Erkenntnis, daß Jordan's Modell sehr gut mit einigen ihrer Annahmen zur Erklärung dieser Effekte über zwei Mechanismen (Repräsentation und Parsing⁴³) übereinstimmt.

Die Überprüfung dieser zwei Mechanismen versuchen dann Curran & Keele (1993) in ihrer Untersuchung. Sie unterscheiden eine aufmerksamkeitsabhängige und eine aufmerksamkeitsunabhängigen Lernform. Die aufmerksamkeitsunabhängige Lernform operiert dabei hauptsächlich zum Verbinden von einfachen Assoziationen. Die aufmerksamkeitsabhängige Lernform dagegen ist ein „... *mechanism for encoding the position of an event within the sequence*“⁴⁴ (Curran & Keele 1993, 200). Ihre Lernformen unterscheiden sich also durch die Aufwendung an Aufmerksamkeitskapazitäten.

Zu einer ganz anderen Hypothese kommt Stadler (1995). In seiner Untersuchung mit unterschiedlichen Zweitaufgaben, die einerseits die Kapazität belasten oder andererseits die Organisation der Sequenz stören. „*The pattern of results observed in this study is most consistent with the hypothesis that it is organization, and not attentional capacity, that is disrupted by the tone-counting task*“⁴⁵ (Stadler 1995, 682). Dies hätte zur Folge, daß es nicht notwendigerweise zwei verschiedene Formen des impliziten Lernens geben würde. Diese unterschiedlichen Lernformen wären allerdings notwendig, wenn die Kapazität einen absoluten Einfluß auf das Lernen hätte.

Heuer & Schmidtke (1996) testen die Hypothese, die aus den vorher dargestellten Untersuchungen hervorgeht, ob einzigartige (unique) Sequenzen nicht von einer Zweitaufgabe beeinflusst werden. Mehrdeutige Sequenzen (ambiguous) werden nach dieser

⁴² Eine störende Zweitaufgabe reduziert stark das Lernen von Sequenzen mit wiederholten Folgen, die an unterschiedlicher Stelle stattfinden können. Die gleiche Zweitaufgabe hat einen geringeren Einfluß auf das Lernen einer Sequenz von einzigartigen Folgen.

⁴³ To parse = grammatisch gliedern

⁴⁴ Mechanismus zur Enkodierung der Position einer Folge innerhalb der Sequenz

⁴⁵ Die Ergebnisse, die in dieser Untersuchung erzielt worden sind, sind konform mit der Hypothese, daß es die Organisation und nicht die Aufmerksamkeitskapazität, die durch die Tonzählaufgabe gestört wird.

Hypothese dagegen von einer Zweitaufgabe beeinflusst. Nach dieser Hypothese müßten bei variierender Sequenz folgende Ergebnisse (rechte Seite) zu erwarten sein.

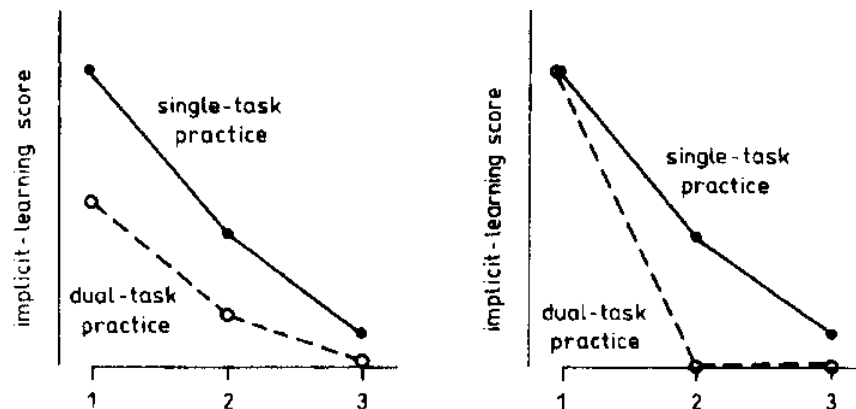


Abb. 8: Tatsächliche Ergebnisse und Ergebniserwartungen (Heuer & Schmidtke 1996, 121)

Die beobachteten Ergebnisse entsprechen aber der linken Abbildung, was deutlich gegen zwei unabhängige Mechanismen des impliziten Lernens spricht. Das nächste Experiment untersucht die Fragestellung, ob durch die Zweitaufgabe eine Kapazitätsinterferenz oder eine spezifische Interferenz entsteht. Dies wird mit Hilfe von verschiedenen Zweitaufgaben untersucht, wie sie bereits von Navon & Gopher 1979 (vgl. Kap. 1.1.2) zur Untersuchung spezifischer Interferenzen gefordert werden. Die verwendeten Zweitaufgaben sind die kognitive „Brooks verbal task“, die kognitive „Brooks visuo-spatial task“ und ein motorischer „Go/no-go task“⁴⁶. Die Ergebnisse zeigen klar auf, daß die beiden „Brooks tasks“, die die Kapazität des kognitiven Arbeitsspeichers belasten, keine Interferenzwirkung auf das Sequenzlernen haben. Die dritte auditorische Doppelaufgabe hat dagegen eine Wechselwirkung. Diese Ergebnisse sprechen für eine spezifische strukturelle Interferenz und gegen eine Kapazitätsinterferenz bei der verwendeten Aufgabe. Betrachtet man die Hypothese von Stadler (1995), könnte man die gefundenen Ergebnisse aber auch durch die Organisation der Sequenzen erklären. Die Autoren fassen dies folgendermaßen zusammen: „*Thus interference seems to be specific to certain secondary tasks and may be related to memory processes (but most likely not to visuo-spatial and verbal memory) or to the organization of sequences, consistent with previous suggestions*“⁴⁷ (Heuer & Schmidtke 1996, 119). Eine weitere Möglichkeit die Interferenzen zu erklären, zeigen Schmidtke & Heuer (1997) auf. Sie erklären die gefundenen Interferenzen über die Task-Integration-Hypothese (vgl. Kap. 1.2.2). Danach

⁴⁶ Zur Erläuterung der verschiedenen Aufgaben vgl. Heuer & Schmidtke 1996

⁴⁷ Obwohl die Interferenzen spezifisch zu bestimmten Zweitaufgabe und möglicherweise mit Gedächtnisprozessen (aber wahrscheinlich nicht zu räumlichen und verbalen Gedächtnisprozessen) oder zur Organisation der Sequenz verbunden zu sein scheinen, was konsistent mit früheren Vorschlägen ist.

nimmt der Proband bei einer Doppelaufgabe nicht zwei unterschiedliche Aufgaben wahr, sondern integriert bzw. koppelt die eine mit der anderen. In ihrem ersten Experiment weisen sie nach, daß eine der Sequenz parallele Zweitaufgabe und die Sequenz selbst besser gelernt werden, als bei einer aphasischen Zweitaufgabe. Diese Hypothese konnte auch in den beiden folgenden Experimenten belegt werden.

2.3 Motorische Lerntheorien

Die beschriebenen Befunde erinnern an Untersuchungen zur Kopplung von motorischen Bewegungen (vgl. Kap. 1.2.2). Daraus stellt sich die Frage, inwieweit die gefundenen Befunde zum impliziten Lernen auch im Bereich der Motorik gelten. Reber verweist zu diesem Punkt auf Wulf und schreibt: *“As Wulf and her colleagues have pointed out, much of motor learning is implicit in nature”*⁴⁸ (Reber 1997, 53). Diese Aussage ist für jeden Sportler, der zum erstenmal versucht jemandem eine Bewegung beizubringen (Teach-Back-Methode), leicht nachvollziehbar, da er zwar bspw. Delphin schwimmen kann, aber nicht explizit die Bewegung beschreiben oder erklären kann. Aus diesem Grund wird im nächsten Unterkapitel eine motorischen Lerntheorie dargestellt.

2.3.1 Generalisierte motorische Programme

Die Hypothese der motorischen Programme wird in den Arbeiten von Pew (1974) und Schmidt (1975) aufgestellt. Schmidt beschreibt diese *„... as a sequence of stored commands that is structured before the movement begins and allows the entire sequence to be carried uninfluenced by peripheral feedback”*⁴⁹ (Schmidt 1975, 231). Wiemeyer faßt die Grundannahmen für motorische Programme wie folgt zusammen:“

⁴⁸ Wie Wulf und ihre Kollegen hervorheben, ist das meiste des motorischen Lernens von Natur aus implizit.

⁴⁹ Als eine Sequenz von gespeicherten Kommandos, die bereits bevor die Bewegung beginnt, strukturiert ist und damit die ganze Sequenz unbeeinflußt von peripherem Feedback ablaufen läßt.

1. *Es werden innere Repräsentationen angenommen, d.h. innere Prozesse (z.B. Codierungen) und Strukturen (z.B. Kurz- bzw. Langzeitgedächtnis, Schemata und Programme)*
2. *Bewegungen werden als Folge von Muskelaktionen interpretiert.*
3. *Das Freiheitsgrad-Problem wird durch die Annahme zentral gespeicherter motorischer Programme bzw. zentraler motorischer Befehle gelöst.*
4. *Hinsichtlich der Organisation motorischer Kontrollprozesse wird eine Hierarchie postuliert.*
5. *Wahrnehmung und Bewegung werden als relativ unabhängig angesehen: Afferenzen haben sensible Funktionen, und Efferenzen haben motorische Funktionen.*
6. *Lernen wird als Erwerb von spezifischen neuromuskulären Bewegungseinheiten angesehen“ (Wiemeyer 1992a, 6).*

Aus diesen Grundannahmen kann man mit Hilfe von motorischen Programmen die motorische Kontrolle erklären. Bei dieser Hypothese treten allerdings einige Probleme auf, daß nämlich erstens neue Bewegungsvariationen einer bereits erlernten Bewegung komplett neu gelernt werden müßten. Turner können aber sobald sie die Kippbewegung am Reck erlernt haben, diese auch schnell im Bodenturnen oder am Barren ausführen. Zweitens müßten dann im menschlichen Kopf alle Bewegungen einzeln gespeichert werden. Jeder Flop im Hochsprung müßte dann als einzelne Einheit repräsentiert werden, was trotz der Möglichkeiten der Speicherung im menschlichen Gehirn äußerst unwahrscheinlich und unökonomisch erscheint. Aus diesem Grund führt Schmidt das Konzept der generalisierten motorischen Programme ein. Dies löst die beiden erwähnten Probleme der Variation und der Speicherung von Bewegungen. Man kann dieses Konzept so definieren: *„In essence this hypothesis states that a generalized motor program (GMP) is an abstract memory structure that allows the production of a number of similar movements of a given class“*⁵⁰ (Roth 1988, 262). Dieses Konzept basiert im wesentlichen auf zwei Hypothesen. Die erste Hypothese ist die Impuls-Timing-Hypothese. Sie besagt, daß das GMP ein Impuls-Timing-Muster aufweist, welches in Form einer Kraft-Zeit-Kurve sichtbar wird. Die zweite wird als Gestalt-Konstanz-Hypothese bezeichnet. Sie wird über drei Programmparameter und drei Invarianten charakterisiert. Die drei Programmparameter sind die Bewegungsdauer, der Gesamtkrafteinsatz und die Muskelauswahl. Die *erste*

⁵⁰ Im wesentlichen besagt diese Hypothese, daß ein generalisiertes motorisches Programm eine abstrakte Gedächtnisstruktur ist, die die Produktion einer Anzahl von ähnlichen Bewegungen einer bestimmten Klasse erlaubt.

Invariante ist das sog. Sequencing, d.h. daß die Reihenfolge und die Verhältnisse der zeitlichen Abstände konstant bleiben. Wenn also bei einer Bewegung erst Muskel a, danach Muskel b und dann Muskel c feuert, dann wird diese Reihenfolge bei jeder folgenden gleichen Bewegung konstant bleiben. Unter der *zweiten* Invariante versteht man das relative Timing. Sie besagt, daß die Aktivierungsdauer der einzelnen Muskeln sich relativ zur Gesamtbewegungszeit verhält. Wenn also bei einer Bewegungszeit von 1000 msec Muskel a 460 msec aktiviert ist, wird er bei einer Bewegungszeit von 500 msec nur 230 msec genutzt werden. Als *dritte* Invariante werden die relativen Kräfte bezeichnet. Sie legen fest, daß das Verhältnis der einzelnen Muskelmaxima konstant bleibt. Wenn also beim Heben eines Gegenstandes Muskel A ein Maximum von 10 und Muskel B ein Maximum von 5 hat, dann wird bei einem halb so schweren Gegenstand Muskel A nur ein Maximum von 5 und Muskel B ein Maximum von 2,5 haben. Erweiterungen dieser Hypothesen sind durch die Fixed-Order-Hypothese und die Mass-Spring-Hypothese erfolgt. Die Fixed-Order-Hypothese besagt, daß eine feste Reihenfolge der Programmierung gegeben ist. Diese Hypothese überprüfen Roth (1988) und Wollny (1988) mit Hilfe der Movement-Precuing-Technik (vgl. Rosenbaum 1980) und können damit deutlich längere Reaktionszeiten bei Bewegungen ohne Precue als bei Bewegungen mit Precue feststellen (vgl. Roth 1989). Die Mass-Spring-Hypothese (vgl. Feldmann 1986 / Wulf 1989) unterscheidet sich von der Impuls-Timing-Hypothese, in dem sie neben den peripheren Einflüssen auch zentrale Einflüsse mit beachtet. Sie kann dadurch auch Phänomene der Massenträgheitsveränderung erklären.

2.3.2 Schmidt's Schematheorie

Das dargestellte Modell der generalisierten motorischen Programme stellt zwar eine Grundlage für die Kontrolle von Bewegungen dar, macht aber keinerlei Aussagen zum motorischen Lernen. Ebenso wie die generalisierten motorischen Programme geht die Schematheorie von einer abstrakten repräsentativen Struktur aus. „*Das Schema entspricht (hierbei) nicht irgendeinem spezifischen Beispiel, sondern ist vielmehr eine (gewichtete) Zusammensetzung, in der die beständigen und hervorstechenden Eigenschaften abstrahiert worden sind*“ (Ivry 1994, 368). Dies löst das Speicherproblem, das bei einer 1:1 Repräsentation gegeben wäre. Das motorische Schema ist also eine Abstraktion von einer Menge von erlebten Bewegungen und momentanen Reizen. Im Schema werden vier Quellen der Information berücksichtigt: “

1. Die Ausgangsbedingungen, die dazu dienen, die geeignete Bewegung auszuwählen, und die für die Beurteilung der Bewegung gespeichert werden.
2. Die spezifischen Reaktionsparameter, die für das Ausführen einer bestimmten Bewegung erzeugt werden.
3. Die sensorischen Konsequenzen, die mit der Reaktion verbunden sind.
4. Das Ergebnis der Reaktion - eine kognitive Quelle für Rückmeldungen, bei der die Reaktion im Vergleich zu dem erwünschten Ziel der Bewegung eingeschätzt wird“ (Ivry 1994, 369).

Diese vier Quellen spielen in zwei Unterschemata ein, die Schmidt in ein Recall-⁵¹ und ein Recognitionsschema⁵² unterscheidet.

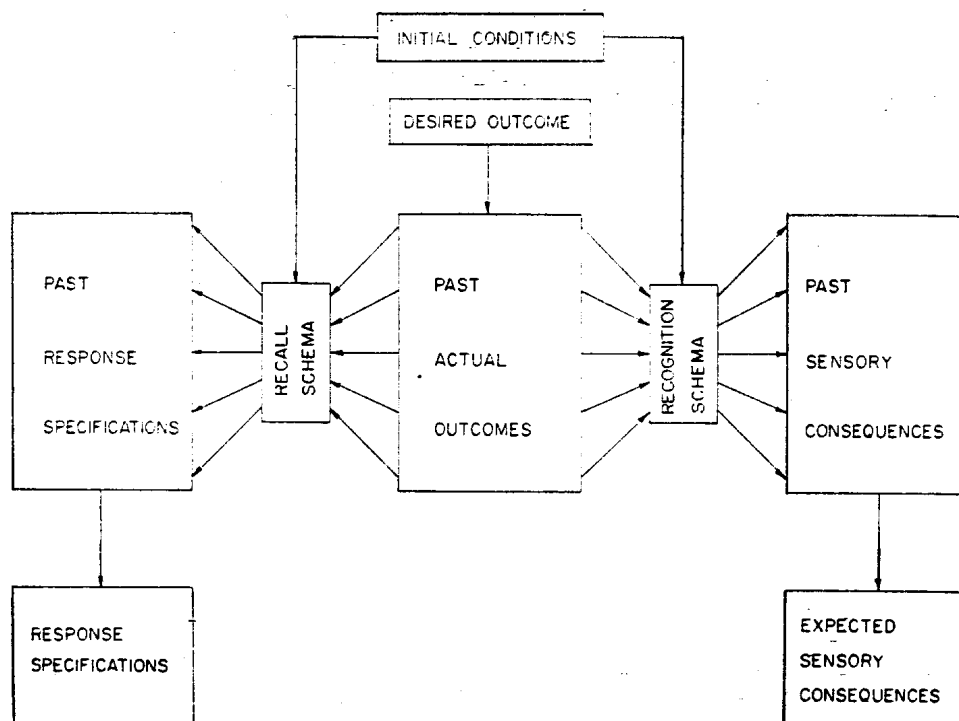


Abb. 9: Schmidt's Schematheorie (Schmidt 1975, 236)

Das Recallschema wählt nicht nur eine spezifische Reaktion aus dem Repertoire der generalisierten motorischen Programme aus, sondern parametrisiert auch für diese bestimmte Situation. Das Recognitionsschema dient zur Beurteilung der ausgeführten Handlung. Dies geschieht sowohl auf einer motorischen als auch auf einer kognitiven Ebene. Der Lernprozeß innerhalb dieses Modells besteht in der fortwährenden Aktualisierung der einzelnen Schemata, d.h. der Gedächtnisstruktur, die sich ursprünglich aus einer Vielzahl von Beispielen zusammengesetzt hat. Daraus läßt sich folgern, daß je

⁵¹ Wiedergabeschema

⁵² Wiedererkennungsschema

unterschiedlicher die Vorerfahrungen sind, desto besser müßten die Lerneffekte sein. Diese „Variability of practice-Hypothese“ läßt sich für viele Teilbereiche des Sports belegen (vgl. z. B. Roth 1990a). Trotz der vorhandenen theoretischen Probleme (vgl. Wiemeyer 1992a), mit denen die Schematheorie belegt ist, resümiert Schmidt 1988: „*While I think the theory was a step forward, it should be clear that it does not provide a complete understanding of the data of motor learning ... the theory provides a useful framework about skill learning*“⁵³ (Schmidt 1988 aus Wiemeyer 1992a, 9).

2.4 Implizites motorisches Lernen

Die Untersuchungen im Bereich des Sports zum impliziten motorischen Lernen lassen sich einerseits in die grundlagenorientierten Untersuchungen wie z.B. von Pew (1974) oder Magill (1994) und andererseits in die anwendungsorientierten Untersuchungen wie z.B. von Hall et al. (1993) oder Masters (1992) aufteilen. Einen Überblick hierzu gibt Tab. 3:

Tab. 3: Untersuchungen zum impliziten motorischen Lernen

Autoren	Bereich
Pew 1974	Trackingaufgabe
Magill & Hall 1989	Trackingaufgabe
Magill, Schoenfelder-Zhodi & Hall 1990	Trackingaufgabe
Green & Flowers 1991	Fangaufgabe
Masters 1992	Golfen
Hall et al. 1993	Surfen
Wulf 1993	Trackingaufgabe
Magill 1994	Trackingaufgabe
Magill, Sekiya & Clark 1995	Trackingaufgabe
Wulf & Schmidt 1997	Trackingaufgabe
Magill & Clark 1997	Trackingaufgabe

2.4.1 Grundlagenorientierte Forschung

Die ersten Experimente zum impliziten motorischen Lernen (soweit dem Autor bekannt) macht Pew 1974. Er berichtet in seiner Veröffentlichung „Levels of analysis in motor control“ von zwei Experimenten, die zum einen „... *performance effects of extended*

⁵³ Obwohl ich denke, daß die Theorie einen Schritt nach vorne bedeutet, sollte klar sein, daß sie nicht ein Erklärungsansatz für alle Daten bzgl. des motorischen Lernens ist ... die Theorie bietet aber einen

*practise*⁵⁴ (Pew 1974, 394) und zum anderen „... *learning memorized movement patterns*⁵⁵ (Pew 1974, 397) als Fragestellung haben. In seinem *ersten* Experiment, das er in Zusammenarbeit mit C.D. Wickens durchführt, benutzt er einen Testaufbau, in dem ein Oszilloskop regelmäßig jede Sekunde einen Punkt aufleuchten läßt, dem die Probanden mit Hilfe eines „... *control stick pivoted at the elbow that moved left and right in the horizontal plane*⁵⁶ (Pew 1974, 394) folgen sollen. Jeder Durchgang ist in vier Abschnitte aufgeteilt. Am Anfang erscheint ein fünf Sekunden langer Abschnitt, der zur Gewöhnung des Probanden an die Aufgabe gedacht ist. Er wird nicht gemessen. Danach folgen drei Abschnitte von je 20 Sekunden Länge in Gauß'scher Form, in denen der mittlere Abschnitt konstant bleibt, während die äußeren Abschnitte in fünf verschiedenen Formen erscheinen. Er beobachtet dabei folgende Ergebnisse:

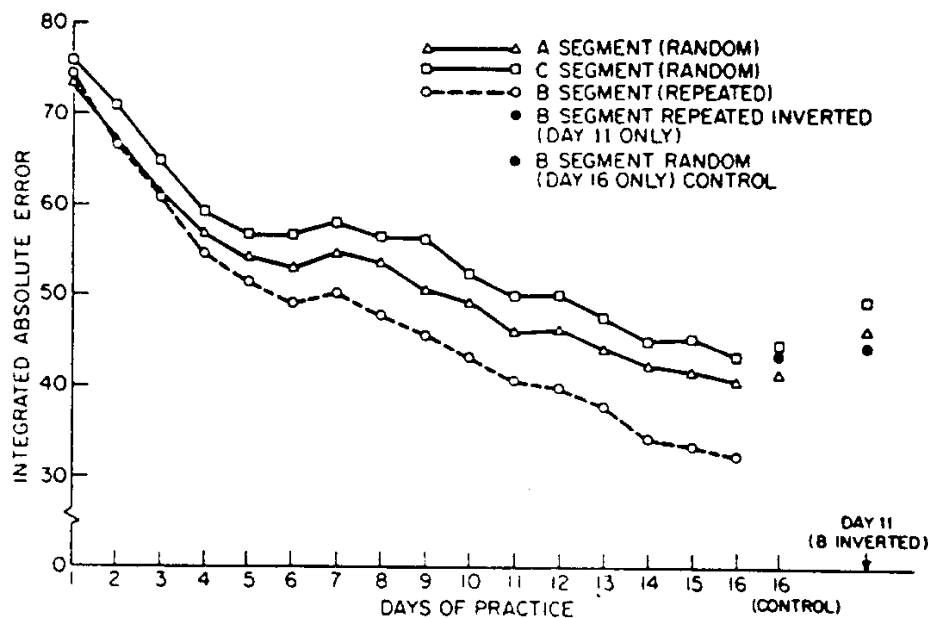


Abb. 10: Ergebnisabbildung der Untersuchung von Pew (Pew 1974, 396)

nutzbaren Rahmen für das Fähigkeitslernen.

⁵⁴ Leistungseffekte durch ausführlicher Übung

⁵⁵ Lernen von memorierten Bewegungsmustern

⁵⁶ eines Kontrollinstruments, daß an den Ellenbogen gekoppelt ist, welches sich auf einer horizontalen Ebene nach links oder rechts bewegt wird.

1. Der mittlere Abschnitt verbessert sich schneller als die anderen beiden Abschnitte.
2. Der randomisierte Abschnitt A wird besser gelöst als der Abschnitt C. Dies erklärt er durch die Tatsache, daß in Abschnitt A bereits der konstante Abschnitt eingeleitet wird und deshalb etwa 5 % des ersten Abschnitts auch konstant sind.
3. Es besteht kaum explizites Wissen bezüglich der Regeln dieser Trackingaufgabe bei den Probanden. Er nutzte dazu die von Reber eingeführte Methode des „Free Recalls“ (vgl. Reber 1993).
4. Beim Transfertest mit x-Achsenspiegelung ist zu beobachten, daß Abschnitt B immer noch signifikant ($t=2.53$, $p<.02$) besser ist als die beiden anderen Abschnitte, und signifikant ($t=3.05$, $p<0.01$) schlechter als die nicht gespiegelten Ergebnisse des Abschnitts B sind.
5. Außerdem ist beim Transfertest zu beobachten, daß die Leistungsverbesserung im mittleren Abschnitt in diesen Durchgängen verschwindet.
6. Trotz eines „Memory loads“ in verschiedenen Durchgängen können keine Unterschiede zwischen den Abschnitten festgestellt werden.

Diese Methode greifen als nächste Magill & Hall (1989) wieder auf. Sie replizieren die Studie Pew's mit drei wesentlichen Zielstellungen. *Erstens* wollen sie implizite motorische Lernprozesse untersuchen, die die Grundlage der meisten Bewegungen sind. Als *zweites* Ziel wollen sie die Studie von Pew replizieren, um die Ergebnisse zu fundieren. Als *dritten* und letzten Punkt wollen sie testen, ob sich für dieses Paradigma ein PC anstelle eines Oszilloskops eignet. Sie entwickeln mit einem IBM XT Computer die verschiedenen Trackingmuster, die jeweils 65 Sekunden lang und in vier Abschnitte aufgeteilt sind (s. Pew Untersuchung). Auch sie benutzten eine Art Joystick zum Steuern. Eine Bewegung nach links entspricht der Abwärtsbewegung und vice versa. Die Testprozedur entsprach genau der von Pew, mit den gleichen Memory Load Tests und der gleichen Free Recall Methode zur Abfrage. Die Ergebnisse (s. Abb. 11 links) entsprechen weitgehend denen von Pew, was darauf hindeutet, daß „... *what was learned was not represented like a fixed motor program*“ ...“, *but that there was some degree of adaptability to a changed environment*“⁵⁷ (Magill & Hall 1989, 6).

⁵⁷ was gelernt wurde, nicht wie ein festes motorisches Programm repräsentiert wird ... sondern das es bis zu einem gewissen Grad anpassungsfähig zu einer geänderten Umwelt war.

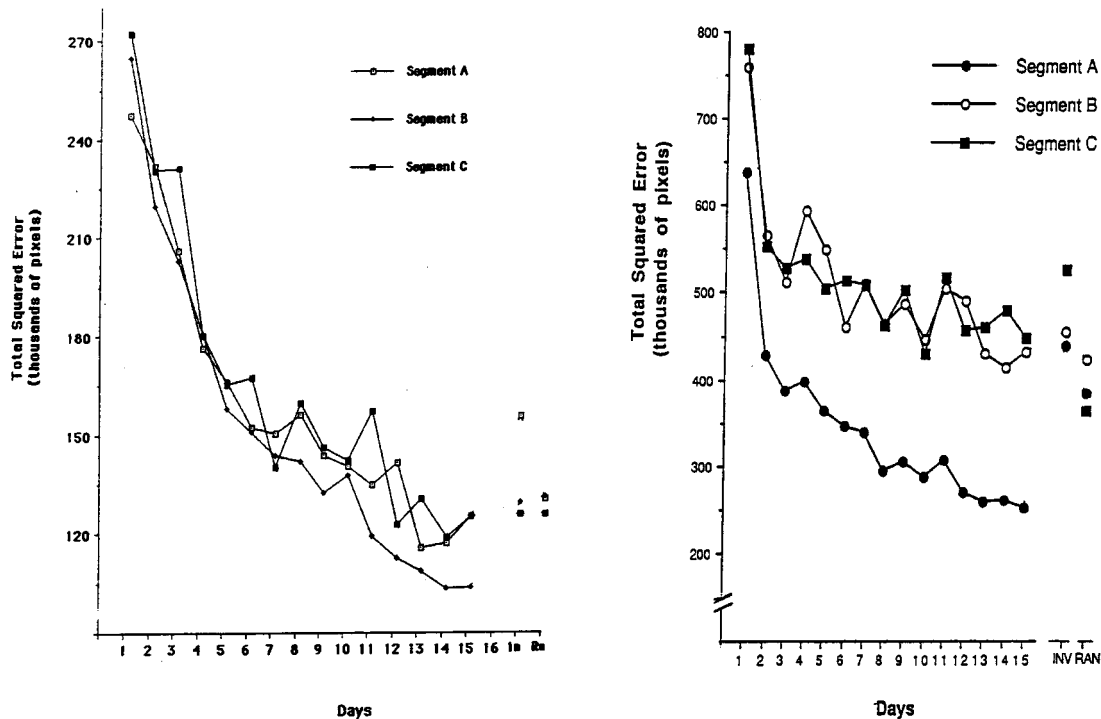


Abb. 11: Ergebnisse der Magill-Untersuchungen (1990 links / 1991 rechts)

In der Nachfolgeuntersuchung versuchen Magill, Schoenfelder-Zohdi & Hall (1990) zu klären, ob „... *environmental stimuli regularity is detected and used to direct skill learning in an implicit, automatic, nonconscious manner*“⁵⁸ (Magill et al. 1991, 2). Um dem Argument zu entgehen, daß die wiederholte Struktur in der Mitte „versteckt“ sei, versetzten Magill et al. in dieser Folgeuntersuchung den mittleren Abschnitt in den ersten Abschnitt. Sie benutzten ansonsten den selben Testaufbau wie in der Untersuchung von Magill & Hall (1990). Die Ergebnisse (vgl. Abb. 11 rechts) replizieren die Effekte, die bereits Pew (1974) und Magill & Hall (1991) vorweisen. Die Lernverbesserung in allen drei Abschnitten und die bessere Leistung im ersten Abschnitt sind hoch signifikant ($p=.0001$). Diese Ergebnisse führen Magill (1994) zu der Schlußfolgerung, daß „... *skill learning can occur without conscious awareness of environmental characteristics that regulate movement*“⁵⁹ (Magill 1994, 102).

Zur genaueren Überprüfung des Einflusses der Amplitude machen Magill, Sekiya & Clark (1995) wiederum eine Trackinguntersuchung, bei der die Amplitude in verschiedenen Formen vorkommt. Zwölf Probanden absolvieren in drei Gruppen jeweils 100 Durchgänge mit Feedback in einer Trackingaufgabe, die mit Hilfe einer Computermouse durchgeführt wird. Die Amplitude ist pro Gruppe auf 200, 300 und 400 Pixel festgelegt. Die

⁵⁸ Regelmäßigkeiten in der Stimulusumwelt entdeckt und zu direktem Fähigkeitenslernen in einem impliziten, automatischen und unbewußten Weise genutzt werden

Kurvendauer ist diesmal auf 11,25 Sekunden reduziert. Die Aufteilung bezüglich der Abschnitte ist die gleiche, aber diesmal ist wieder der mittlere Abschnitt konstant. Die Testprozedur nach der Aneignungsphase mit je zehn Durchgängen setzt sich zusammen aus:

1. Retentionstest ohne Ergebnisrückmeldung (knowledge of results)
2. Fragebogen im Free-Recall-Prinzip
3. Generierungstest, in dem der Mittelteil verschwindet
4. Visueller Behaltenstest, bei dem die Kurve als ganzes gesehen werden kann
5. Visuell-motorischer Behaltenstest, bei dem die Kurve gesehen wird und die Mouse nachgesteuert wird

Magill, Sekiya & Clark kommen zu der Schlußfolgerung, daß erstens für weitere Untersuchungen die Amplituden der zu vergleichenden Abschnitte gleich sein muß und zweitens implizites Lernen zwar wieder nachgewiesen werden kann, aber von der Amplitude abhängen scheint. Außerdem ist in den Ergebnissen der Posttests deutlich, daß zwar kein explizites Wissen über die Funktion vorhanden ist, daß aber dennoch bei visueller Präsentation eine über der zu erwartenden Wahrscheinlichkeit liegende Trefferquote erzielt wird. In der bislang letzten Untersuchung der Magill Arbeitsgruppe berichten Magill & Clark (1997) vom Vergleich unterschiedlicher Lerngruppen. Sie untersuchen in einem 2x2 Design den Unterschied im Lernerfolg der vier Gruppen.

Tab. 4: Kreuzdesign von Magill & Clark 1997

Bedingungen	Wahrscheinlichkeit 100 %	Wahrscheinlichkeit 50 %
Implizites Lernen	Implizites Lernen 100 %	Implizites Lernen 50 %
Explizites Lernen	Explizites Lernen 100 %	Explizites Lernen 50 %

Sie benutzen dieselbe Methode, die auch im Experiment von Magill et al. 1995 verwendet wird. Aufgrund der erzielten Ergebnisse⁶⁰ kommen sie zu folgenden Schlüssen: “

1. *Die vorherigen Untersuchungen zum impliziten Lernen konnten repliziert werden.*
2. *Das explizite Wissen über die Regel ist weder hinderlich noch förderlich.*
3. *Die Auftretenswahrscheinlichkeit hat einen tendenziellen Einfluß auf die Lernverbesserung*
4. *Die Informationsaufnahme passiert hauptsächlich visuell“ (nach Magill & Clark 1997).*

⁵⁹ Fähigkeitslernen kann ohne das Bewußtsein der Umweltcharakteristika, die die Bewegung regulieren

⁶⁰ Für die Ergebnisse vgl. Magill & Clark 1997

Die vorgelegten Untersuchungen von Magill et al. nutzen Wulf & Schmidt (1997) zum Überprüfen der „Variability of practise“-Hypothese. Sie führen dazu zwei Experimente durch, in denen die Probanden die gleiche Trackingaufgabe durchführen müssen, wie sie bereits bei Magill beschrieben ist. Im *ersten* Experiment kann es allerdings innerhalb des Mittelteils zu Variationen der Amplitude (vgl. Abb. 12 oben) kommen, je nachdem welcher Gruppe der Proband angehört. Außerdem variiert die Geschwindigkeit des Zielkreuzes⁶¹ (vgl. Abb. 12 unten), so daß ein 2x2 Kreuzdesign gegeben ist.

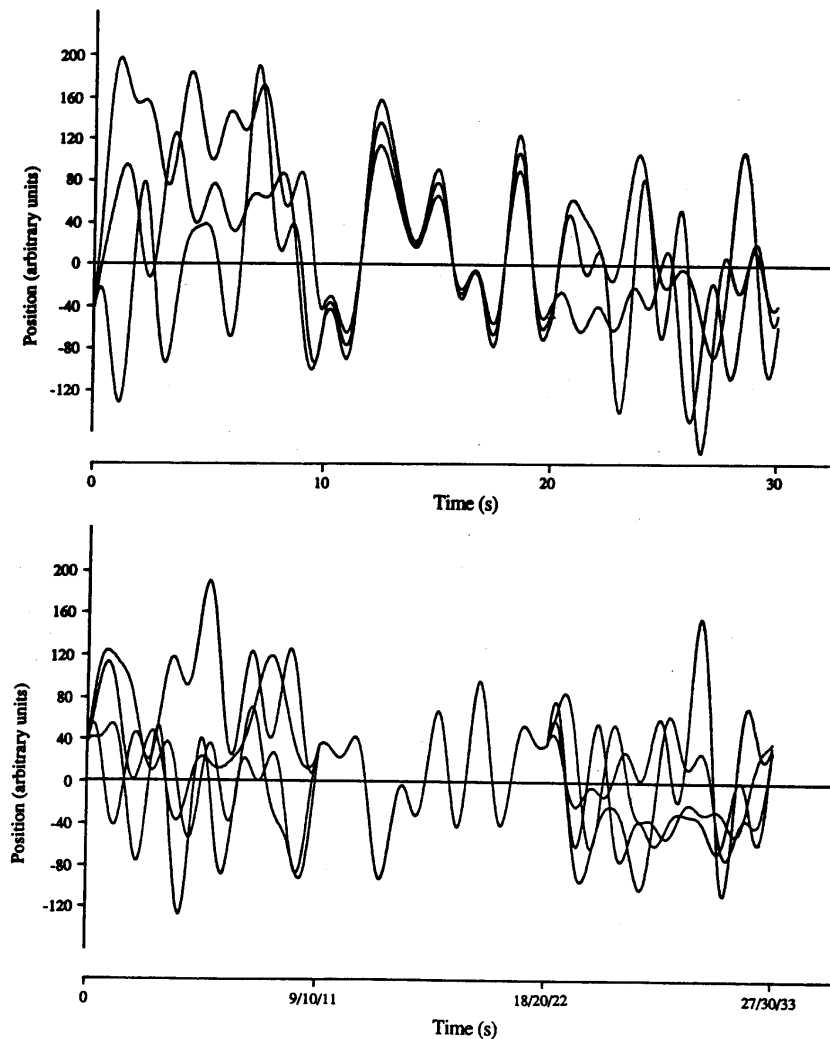


Abb. 12: Beispiele für Trackingmuster mit unterschiedlicher Amplitude (oben) und unterschiedlicher Zeitdauer (unten) (Wulf & Schmidt 1997, 991)

Im *zweiten* Experiment ist das wiederholte Segment entweder im mittleren Abschnitt oder im letzten Abschnitt. Außerdem wird bei der Auswahl der Trackingmuster darauf geachtet, daß alle drei Abschnitte die selbe Amplitude haben (vgl. Magill 1994). Ergebnisse beider Experimente liefern „... *converging evidence for implicit learning being involved in the acquisition of a generalized, or an abstract, movement representation that can be adjusted*

⁶¹ Daraus folgt, daß eine entweder längere oder kürzere Zeitdauer gegeben ist.

to different situational demands in terms of absolute movement amplitude (force) and overall duration“⁶² (Wulf & Schmidt 1997, 1003). Im Bereich der „Variability of practice“-Hypothese kann ein weiterer Beleg geliefert werden. Es scheint sogar so, daß „... *the role of practice variability - at least variability along particular dimensions - might be even stronger for tracking tasks than for the discrete tasks usually studied*“⁶³ (Wulf & Schmidt 1997, 1005).

2.4.2 Anwendungsorientierte Forschung

Eine eher anwendungsbezogene Situation wählen Green & Flowers (1991) für ihre Fang-Computersimulation. Sie unterteilen ihre Probandengruppe (n=25) in explizite und implizite Lerngruppen. Diese müssen in fünf aufeinander folgenden Tagen 800 Durchgänge der Fangaufgabe durchführen. Dabei fällt ein Ball (Punkt von einem Pixel) von der imaginären Decke zum imaginären Boden. Dieser Ball beschreibt eine von acht unterschiedlichen Bahnmustern. Diese werden durch kurze Ausreißer im oberen Drittel oder durch Wegdriften in Bodennähe variiert. Der Ausreißer im oberen Drittel ist außerdem ein Cue, nach dem im nächsten Durchgang zu 75 % mit einem Wegdriften des Balls zu rechnen ist (genauso umgekehrt). Der Proband hat die Aufgabe, mit einer Art Pfanne den Ball unten möglichst mittig aufzufangen. Gelingt dies, gibt es sowohl ein visuelles als auch ein auditives Feedback. Als abhängige Variablen werden einerseits die Genauigkeit des Fangens und andererseits die Effizienz des Joystickbewegens gemessen. Die Ergebnisse dieser Studie „... *seem to suggest no differences between explicit and implicit learning processes were involved*“⁶⁴ (Green & Flowers 1991, 299). Außerdem weisen Green & Flowers noch daraufhin, daß explizite Gruppen, die Instruktionen über die statistischen Wahrscheinlichkeiten bekommen haben, mit negativen Effekten in der Testleistung belastet sind.

Im Bereich der realen sportlichen Bewegung liegen nach Wissen des Verfassers im

⁶² Konvergierende Belege dafür das implizites Lernen involviert ist in die Aneignung von generalisierten oder abstrakten Bewegungsrepräsentationen, die je nach Situation an die entsprechenden Ansprüche im Rahmen der absoluten Bewegungsamplitude und der Dauer adaptiert werden kann.

⁶³ Die Rolle der Überungsvariabilität - zumindest die Variabilität in bestimmten Dimensionen - könnte für Trackingaufgaben stärker sein als für die sonst untersuchten diskreten Aufgaben.

⁶⁴ Scheint keine Unterschiede zwischem explizitem und implizitem Lernprozessen zu suggerieren

Moment nur wenige Untersuchungen vor. In der Untersuchung „*Implicit vs. explicit knowledge in skilled surfers*“⁶⁵ versuchen Hall et al. (1993) durch Interviews in einem Pretest das explizite Wissen der Surfer zu messen. Danach surfen die Probanden drei „gute“ Wellen und sollen hinterher ihr Wissen über die vollführten Bewegungen mitteilen. Innerhalb dieser drei Durchgänge kommt es zu signifikanten Verbesserungen bzgl. ihres „expliziten Wissens“.

Masters (1992) macht eine Untersuchung in der Sportart Golf. Er unterrichtet 40 Neulinge im Putten. Diese sind in fünf Gruppen unterteilt, die alle unterschiedliche Treatments durchlaufen. Diese Gruppen sind zu unterteilen in implizites Lernen unter Doppelaufgabenbedingungen, implizites Lernen und explizites Lernen ohne Streß (Gruppe 1-3). Weiterhin werden die implizite und die explizite Gruppe noch unter Streß getestet (Gruppe 4-5). Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, daß „... *the skill of performers with a small pool of explicit knowledge is less likely to fail under pressure than that of performers with a large pool of explicit knowledge*“⁶⁶ (Masters 1992, 343).

2.5 Die Teile im Ganzen

Die beiden dargestellten spezifischen Teilbereiche des impliziten Lernens und des motorischen Lernens werden nun wieder in die allgemeine Lerntheorie von Hoffmann (1993) eingegliedert, so daß man von einer gemeinsamen Lerntheorie ausgehen kann. Hoffmann schreibt über das implizite Ereignissequenzlernen: „Die Beobachtungen sind dabei weitgehend übereinstimmend, daß man generelle Mechanismen der Strukturbildung vermuten kann“ (Hoffmann 1993, 215). Diese Strukturen werden bei anderen Autoren auch als Rhythmen (vgl. Shaffer 1982) interpretiert. Wie auch immer man diese bezeichnen möchte, so kann man doch immer von Lernprozessen durch „Strukturierung“ (Ordnung/Rhythmisierung) sprechen. Diese Strukturierung kann aber nur zwischen benachbarten Reizen, die direkt aufeinanderfolgen implizit gelernt werden (vgl. Mathews et al. 1989). Interessant ist hierbei, daß die Relation zwischen den Ereignissen von besonderem Interesse zu sein scheint. Unter der Relation zwischen den Ereignissen kann man hier die Vorhersagbarkeit oder die mögliche Antizipation zwischen zwei Ereignissen verstehen. Dafür sprechen auch die Ergebnisse von Willingham et al. (1989), die Hoffmann wie folgt zusammenfaßt: „*Sie belegen, daß die Lernmechanismen nicht einfach*

⁶⁵ Implizites versus explizites Wissen bei fortgeschrittenen Surfern

⁶⁶ die Fähigkeit der Probanden mit einem kleinen Anteil an explizitem Wissen bricht weniger wahrscheinlich unter Druck zusammen als bei Probanden mit einem großen Anteil an explizitem Wissen.

nach Strukturen in erlebten Reihenfolgen suchen, sondern nach Strukturen in herstellbaren Reihenfolgen, d.h. nach systematischen Zusammenhängen zwischen dem eigenen Verhalten und den daraufhin eintretenden Konsequenzen“ (Hoffmann 1993, 235). Ebenso interpretieren Cleeremans & McClelland ihre Ergebnisse: „*Encoding of the temporal structure seems to be primarily driven by anticipation of the next element of the sequence*“ (Cleeremans & McClelland 1990, 228 - 233). Es scheint also, daß wenn es zum Erlernen einer Struktur kommt, dies zur frühzeitigen Antizipation genutzt werden kann.

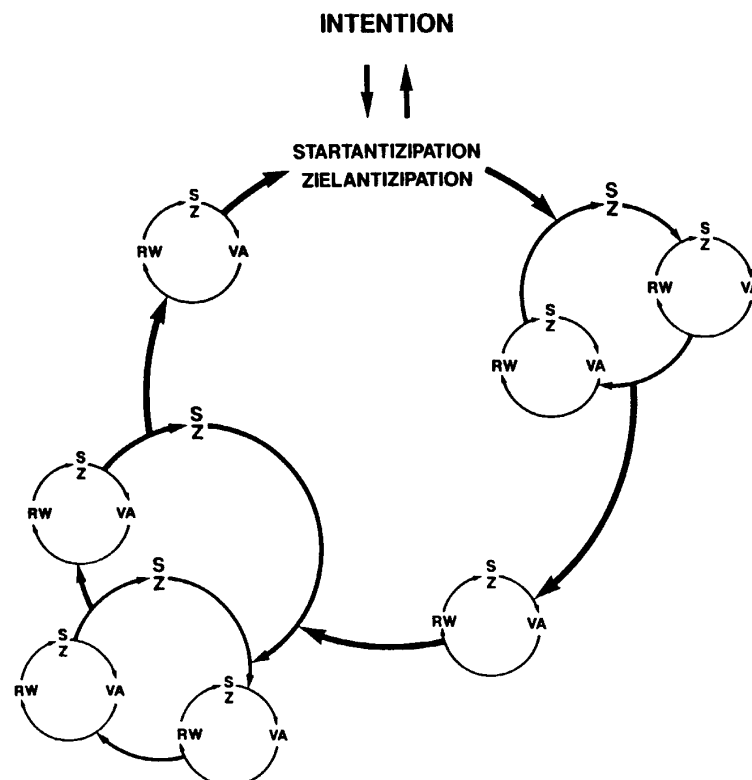


Abb. 13: Hierarchische Strukturierung von Antizipationen (Hoffmann 1993, 246)

So können durch Strukturierung mehrere Ereignisse zu einer Ereignisfolge zusammengefaßt werden, die nur einmal antizipiert werden muß (s. links unten in Abb. 13). Kommt es dagegen zu keiner Ereignisfolgenbildung, müssen die einzelnen Ereignisse seriell antizipiert werden. Dann kommt es also zu mehreren, in der Abbildung 13 dargestellten, kleinen Kreisläufen. Dies hat zur Folge, daß eine längere Zeitdauer für die Antizipationen benötigt werden. Da der Mensch aus evolutionstheoretischer Sicht versuchen wird, seine Vorbereitungszeitdauer gering zu halten, kann man davon ausgehen, daß diese antizipative Strukturierung ein Teil der Strukturbildung ist. Die Theorie der antizipativen Verhaltenskontrolle ist also durchaus konsistent mit den dargestellten Ergebnissen der Untersuchungen zum Ereignissequenzlernen.

Einige Unterschiede sind zwischen den Theorien von Schmidt und Hoffmann zu beobachten. Hoffmann argumentiert: „*Während nach Annahmen der Schematheorie Erfahrungen über die motorischen Kommandos und über sensorische Konsequenzen getrennt voneinander abstrahiert werden, gehen unsere Vorstellungen davon aus, daß erst durch die Antizipation der sensorischen Konsequenzen die motorischen Kommandos festgelegt werden, die erfahrungsgemäß zu diesen Konsequenzen unter den gegebenen Bedingungen führen*“ (Hoffmann 1993, 190). Nach Hoffmann kann die Trennung des Recall- und des Recognitionsschemas nicht möglich sein. Er führt für diese Hypothese das mentale Training als Beleg an, bei dem Lernerfolge ohne sensorische Konsequenzen erzielt werden können. Ein weiterer Unterschied zwischen den Modellen von Hoffmann und Schmidt liegt in den Abstraktionsvorgängen. Während bei Schmidt erst eine Menge an Erfahrungen notwendig ist, bevor abstrahiert werden kann (=diskontinuierliche Abstraktion), kommt es nach Hoffmann bei der ersten Antizipation zu einer Abstrahierung (=kontinuierliche Abstraktion). Ein weiterer Unterschied ergibt sich bei der Parametrisierung einer Bewegung. Bei Schmidt passiert dies durch die Interpolation der erlebten sensorischen Konsequenzen. Bei Hoffmann regulieren dagegen die antizipierten sensorischen Konsequenzen die Bewegung. Trotz dieser Unterschiede kann man die konzeptionelle Nähe der beiden Modelle nicht übersehen. Das Modell Hoffmanns bietet damit sowohl einen konzeptionellen Rahmen für den Bereich des Ereignissequenzlernens als auch für den Bereich des motorischen Lernens.

Exkurs:

Zum Abschluß dieses Kapitels muß noch eine kleine Randnotiz zur Themenstellung der Arbeit erörtert werden. Das gestellte Thema bezieht sich auf implizites und explizites motorisches Lernen. Die Schwerpunkte in diesem Kapitel liegen auf den Theorien des impliziten Lernens. Dies erscheint auch sinnvoll, da wie Reber schreibt „... *much of motor learning is implicit in nature*“⁶⁷ (Reber 1997, 53). Dies bedeutet aber auch, daß Teile des motorischen Lernens gleichzeitig explizit stattfinden. Um diesem Rechnung zu tragen, spricht der Autor in der Themenstellung sowohl von implizitem als auch explizitem Lernen, da die Anteile (noch?) nicht klar trennbar sind. Nach dem Modell Hoffmanns ist es aber auch nicht notwendig zwischen impliziten und expliziten Anteilen des Lernens zu unterscheiden.

⁶⁷ Viel des motorischen Lernens von Natur aus implizit stattfindet.

3 Hypothesen

Aus den Ausführungen der beiden ersten Kapitel folgen drei Fragestellungen für diese Untersuchung:

1. Können bei gleicher Kapazitätsbelastung unterschiedliche Interferenzen entstehen?
2. Wird implizit gelernt?
3. Welche Rolle spielt die Struktur beim impliziten Lernen ?

Zur Untersuchung der ersten Fragestellung werden drei Gruppen mit unterschiedlichen Treatments benötigt. Die erste Gruppe ohne Doppelaufgabe wird als Kontrollgruppe genutzt, um zu sehen, ob überhaupt Interferenzen entstehen. Die beiden anderen Gruppen werden mit der gleichen Doppelaufgabe ausgestattet, so daß ihre Kapazitätsbelastung gleich hoch ist. Der Unterschied zwischen diesen Gruppen liegt in der Strukturierung der Doppelaufgabe. Die theoretisch zu erwartenden Unterschiede führen zu folgendem ersten Hypothesenblock:

- H1a: Die Leistung der Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe ist signifikant besser als die Leistung der Gruppe mit Einzelaufgabe.
- H1b: Die Leistung der Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe ist signifikant besser als die Leistung der Gruppe mit randomisierter Doppelaufgabe.
- H1c: Es gibt keine signifikanten Unterschiede in der Leistung zwischen der Gruppe mit randomisierter Doppelaufgabe und der Gruppe mit Einzelaufgabe.

Die zweite Fragestellung, ob bei der Aneignung implizit gelernt wird, wird durch verschiedene Tests überprüft. Zunächst muß jedoch prognostiziert werden, daß es zu einer besseren Lernleistung im mittleren Abschnitt gegenüber den beiden äußeren Abschnitten kommt. Nach der Definition von Reber (1993) geschieht diese Aneignung im Mittelteil unbewußt und beiläufig. Sie sollte außerdem gegenüber zeitlichen Faktoren resistent sein. Reber weist auch darauf hin, daß eine geringere Transferleistung beim impliziten Lernen zu erwarten ist. Aufgrund der evolutionär frühen Entwicklung des impliziten Lernens ist mit einer geringeren Bandbreite an Leistungen im mittleren Abschnitt zu rechnen. Daraus folgert der zweite Block an Hypothesen:

H2a: Es kommt zu einer signifikant besseren Lernleistung im konstanten Mittelabschnitt als in den beiden äußeren Abschnitten.

H2b: Die Behaltensleistung im mittleren Abschnitt verschlechtert sich nicht signifikant.

H2c: Die Leistungen im mittleren Abschnitt des Transfertests verschlechtern sich signifikant stärker als bei den beiden anderen Abschnitten.

Werden die beiden ersten Fragestellungen positiv beantwortet, nämlich daß sowohl gelernt wird als auch Interferenz durch Strukturierung belegbar ist, dann schließt sich die Frage an, welchen Einfluß der Faktor „Struktur“ auf das Lernen hat. Da es sich beim impliziten Lernen nach Hoffmann um das Lernen von Invarianten handelt, sollte die zusätzliche Information eine Förderung der Lernleistung zur Folge haben. Der mittlere Abschnitt sollte daher keine Unterschiede im Lernverlauf zwischen den Gruppen aufweisen. Der erste und dritte Abschnitt sollte Unterschiede zwischen den Gruppen zeigen. Beim Transfertest sollten außerdem die Leistungseinbußen der strukturierten Gruppe geringer sein als bei den anderen Gruppen, da es zu einer größeren Lernleistung des zeitliche Musters der Bewegung kommt. Damit lautet der dritte Block an Hypothesen:

H3a: Die Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe lernt im Mittelteil signifikant besser als die beiden anderen Gruppen.

H3b: Die Aneignung der beiden äußeren Abschnitte ist bei der Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe signifikant besser als bei den anderen beiden Gruppen.

H3c: Die Leistungseinbußen beim Transfertest sind bei der strukturierten Gruppe signifikant geringer als bei den beiden anderen Gruppen.

Zur Überprüfung dieser Hypothesen eignet sich die folgende Untersuchungsmethodik.

4 Untersuchungsmethodik

Zur Untersuchung der in Kapitel 3 genannten Fragestellungen wird auf der Suche nach der passenden Methode die Literatur zu Hilfe genommen. Erst nachdem man sich einen kritischen Überblick über den reichen Fundus an Methoden geschaffen hat, kann man die weiteren Schritte der Untersuchung planen.

4.1 Vorüberlegungen

Im Bereich des impliziten Lernens gibt es nur wenige Untersuchungen, die sich mit Motorik beschäftigen (vgl. Kap. 2.4). Aus den bisherigen Untersuchungsmethoden wurde aus folgenden Gründen die Trackingaufgabe⁶⁸ ausgewählt:

- 1) Die Trackingaufgabe bietet als Methode eine reiche Fundierung. Der Effekt des impliziten Lernens kann in diesem Bereich als gesichert gelten. Insbesondere durch die Untersuchungen von Magill bzw. Magill et al. lassen sich bereits Teilaspekte vorab klären, die für die Kurvenauswahl von Bedeutung sind.
- 2) Bei der Untersuchung von Fendrich, Healy & Bourne (1991) ist einerseits die Rolle der Bewegung und andererseits die der Bedeutung der Ziffern für das implizite Lernen nicht geklärt und ist somit als Methode für diese Fragestellung nicht geeignet.
- 3) Die Untersuchung von Green & Flowers (1991) beinhaltet Bewegungen in *nur eine* Richtung. Diese Bewegungen sind im Sport höchst selten. Günstiger erscheinen die Bewegungen in zwei Richtungen bei der Trackingaufgabe.
- 4) Die Untersuchung von Wulf & Schmidt (1997) zeigt die Nähe der Trackingaufgabe und ihre Relevanz für die allgemeine Bewegungslehre.
- 5) Last but not least: Die Zusammenarbeit mit Prof. Magill ermöglicht einen späteren Vergleich und eine weitere Diskussion der Ergebnisse.

Die große Fundierung der bisherigen Ergebnisse erleichtert auch die Planung des Testverlaufs. Die Aneignungsphase kann durch die eigene Voruntersuchung sowie die zahlreichen anderen Untersuchungen (s. Tab. 5) auf 240 Durchgänge beschränkt werden. Innerhalb dieser Spanne kommt es bereits zu deutlichen Lernerfolgen, so daß weitere Belastungen der Probanden sowohl im motivationalen als auch im konzentrativen Bereich vermieden werden können. Sie können nämlich zu ungewollten Leistungseinbußen führen, wie sie in der Voruntersuchung (vgl. Kap. 4.1.3) verschiedentlich auftraten.

Tab. 5: Anzahl der Durchgänge zur Aneignung

Autoren	Aneignung
PEW (1974)	384 Durchgänge
MAGILL et al. (1989/1990/1991)	374 Durchgänge
MAGILL (1995)	100 Durchgänge
WULF/SCHMIDT (1997)	240 Durchgänge

Bei der Wahl des PC-Steuerungsgerätes für das Folgekreuz standen mit Digitalisierstift, Joystick und Maus drei Alternativen zur Verfügung. Da die Meßgenauigkeit bei allen drei Geräten gleich gut ist⁶⁹, muß die Auswahl nach anderen Kriterien getroffen werden. Bei der ausgewählten Methode handelt es sich um eine *zweidimensionale* Aufgabe. Beim Digitalisierstift besteht die Gefahr, in der dritte Dimension zu arbeiten, d.h. der Stift kann unbeabsichtigt gehoben oder gesenkt werden. Der Joystick dagegen ermöglicht zwar ebenso wie die Maus zweidimensionale Bewegungen, hat jedoch den Nachteil der Stationarität. Die Maus dagegen spiegelt die Bewegung der Kurve am besten wieder. Sie erlaubt nicht nur am Bildschirm Bewegungen in beide Dimensionen.

Zur Beantwortung der ersten und dritten Fragestellung muß eine Lösung gefunden werden, die einerseits die Möglichkeit eröffnet, die Struktur der Erstaufgabe zu manipulieren, andererseits keine unterschiedlichen Aufmerksamkeitskapazitäten oder nach Kinsbourne & Hicks (1978) cerebralen Funktionen beansprucht. Daraus folgert, daß es sich um *eine* Aufgabe handeln muß, die für beide „Interferenz“-gruppen verwendet werden kann. Die Doppelaufgabe bietet diese Lösung, da sie nach dem Kapazitätsmodell bei gleicher Aufgabe die gleichen Kapazitäten erfordert und trotzdem die Struktur der Erstaufgabe durch die Zweitaufgabe manipuliert werden kann.

Die Auswahl dieser Zweitaufgabe gestaltete sich anfangs schwierig, da es hier bereits eine Fülle von Methoden gibt. Nach der Literaturanalyse in diesem Bereich wurde deutlich, daß die erste Überlegung die zu wählende Sinnesmodalität bestimmen muß, welche gewählt werden soll. Da nach dem Modell des Common Codings die Codierung der unterschiedlichen Modalitäten gleich verläuft (vgl. Kap. 1.2), kann die Wahl sehr frei gestaltet werden. In diesem Fall wird eine bereits mehrfach genutzte auditive Doppelaufgabe gewählt. Sie hat den Vorteil, daß sie auch in der Sportpraxis relativ leicht genutzt werden kann.

⁶⁸ Für einen ausführlichen Überblick zur Trackingaufgabe siehe Poulton 1974 / Hammerton 1981

⁶⁹ Auskunft durch Herrn Dipl. Ing. mach. E. Claassen, TU-Darmstadt

Bei der Wahl eines akustischen Reizes erleichterte sich die Suche nach der geeigneten Methode. Bereits Broadbent (1952) hat in seiner ersten Untersuchung zu „*Listening to one of two synchronous messages*“ das Zählen von hohen vs. niedrigen Tönen als Zweitaufgabe verwendet. Diese Methode findet also bereits am Beginn der Aufmerksamkeitsforschung ihre Anwendung und ist in zahlreichen Untersuchungen wiederholt worden. Sie bietet den Vorteil, daß relativ kurze Reizintervalle möglich sind. So kann man leicht eine der „Trackingaufgabe parallele“ Struktur erstellen. Ebenso von Vorteil sind die Vorerfahrungen im Bereich des Sports mit dieser Methode. Dort wird der akustische Reiz häufig beim Erlernen neuer Bewegungen verwendet. Als Beispiel sei nur jegliche Form des Tanzes oder auch die Rhythmismethode aus der Sportdidaktik erwähnt.

4.1.1 Testkonstruktion

Die Testkonstruktion ist vom Verfasser konzipiert und danach durch einen Programmierer⁷⁰ umgesetzt worden. Bei der fertigen Version handelt es sich um ein compiliertes C⁺⁺-Programm, das mit Unterstützung von DirectX⁷¹ unter dem Betriebssystem Microsoft Windows 95 läuft. Die Grafikauflösung ist dem Bildschirm angeglichen und mit 800x600x8 Pixeln festgelegt.

Das Konzept wird in verschiedenen Schritten entwickelt. Zuerst steht die Überlegung über die mathematische Form der Kurve zur Diskussion. Wulf & Schmidt (1997) z.B. verwenden eine Sinus-Cosinus-Funktion. Bei drei Abschnitten hat diese Funktion allerdings das Problem, daß ihre Übergänge nicht ohne Knickstellen funktionieren. Aus diesem Grund hat sich der Verfasser für eine Sinus-Cosinus-Funktion mit einem Übergang durch eine Bezier-Splines-Funktion entschieden. Der Mittelteil hat die Form:

$$f(x) = \sin(x) * \cos(x*2,41) + \sin(x*2,1) * \cos(x*2,7)$$

Für die randomisierten Abschnitte wird folgende Funktion verwandt:

$$f(x) = pa_i * \sin(x*i) + pb_i * \cos(x*i),$$

wobei pa und pb aus dem Intervall von -5 bis +5 stammen. Nach der Konstruktion des mittleren Abschnittes werden für die beiden randomisierten Abschnitte noch folgende Bedingungen festgelegt:

- 1) Die Anzahl der Pixel in der vom Zielkreuz beschriebenen Kurve muß bei den beiden äußeren Abschnitten dem mittleren Abschnitt entsprechen.

⁷⁰ Herrn A. Gabriel, Universität Karlsruhe

⁷¹ Copyright bei Microsoft. Es wird zur Vereinfachung von Grafik- und Soundprogrammierung verwendet.

- 2) Die von dem Zielkreuz beschriebene Amplitude muß über alle drei Abschnitte gleich sein, damit die Schwierigkeit möglichst gleich ist (vgl. Kap. 4.1.2).

Da nach der Untersuchung von Wippich, Mecklenbräuker & Baumann (1994) „... *Informationen über die Größe, Orientierung oder Farbe von Bildobjekten ... in mehreren impliziten Gedächtnisuntersuchungen nicht nachgewiesen werden*“ (Wippich et al. 1994, 343) können, ist es möglich, die Farbgebung nach senso-optischen Aspekten zu tätigen. Sie basiert auf dem Farbraum, den die Psychologen zur Beschreibung von Farbeindrücken nutzen⁷². Schwarz als Hintergrundfarbe erzeugt einen Wahrnehmungstunnel, so daß die Aufmerksamkeit auf die Kreuze auf dem Bildschirm gelenkt wird. Das Zielkreuz wird rot gestaltet, da die Farbe Rot ein hohen Attraktorwert für das menschliche Auge hat. Dem Folgekreuz wird mit der Farbe Weiß der stärkste Kontrast zum Hintergrund bezüglich der Helligkeit zugeteilt. Für die Tonanzahlabfrage und das Feedback wird aus diesem Grund ebenfalls weiß gewählt. Die Tonanzahlabfrage erscheint bei den Gruppen mit Doppelaufgabe nach jedem Durchgang in der Mitte des Bildschirms. Die Eingabe des Probanden erfolgt über die Tastatur des Computers. Nach der Eingabe erscheint sofort das Feedback. Das arithmetische Mittel des RMS-Fehlers wird mittig in dem oberen Abschnitt des Bildschirms angegeben. Die Tonfehlerangabe wird bei den Gruppen mit Doppelaufgabe ebenso gleichzeitig mittig im unteren Abschnitt des Bildschirms angezeigt. Simultan erscheint auch das rote Zielkreuz wieder in der Mitte des linken Randes des Bildschirmes. Durch das Führen des Folgekreuzes auf das Zielkreuz kann ein neuer Durchgang mit einem Anklicken der linken Maustaste wieder gestartet werden. Die Anzahl der Testdurchgänge erscheint als Abfrage automatisch vor jedem neuen Test. Zu Beginn lassen sich die Einstellungen der verschiedenen Tests und Tonpräsentationen über eine Menueleiste regeln. Bei den Tönen wird darauf geachtet, daß Rechtshänder links und Linkshänder rechts den hohen Ton (1086 Hz; 52 msec)⁷³ hören, so daß der SIMON-Effekt⁷⁴ ausgeschlossen werden kann. Die tiefen Töne (217 Hz; 350 msec) erklingen entsprechend aus der jeweils gegenüberliegenden Kopfhörerseite.

4.1.2 Schwierigkeitsindex

Um den möglicherweise unterschiedlichen Schwierigkeiten der einzelnen Abschnitte Rechnung zu tragen, wird ein Schwierigkeitsindex zum Vergleich der einzelnen

⁷² vgl. Zimbardo 1992⁵, 154f.

⁷³ Messung durch Herrn Gerd Schmitt, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg.

⁷⁴ Für eine Erläuterung des SIMON-Effekts vgl. Müsseler, Aschersleben & Prinz 1995, 327-331.

Abschnitte berechnet. Diesen Schwierigkeitsindex (ITD = Index of Tracking Difficulty) entwickelt Wickens (1980) aus zwei Beobachtungen:“

1. *...the increasing difficulty observed with the logarithm of control amplitude as characterized in Fitt's law of movement time (Fitts 1954) ...*
2. *... the exponential rise in difficulty or effort that Micko (1969) observed as responses are decrease in time“⁷⁵ (Wickens 1980, 250).*

Er läßt also einerseits die logarithmisierte Amplitude und andererseits die Frequenz der Kurvenfunktion in die Berechnung einfließen. Da in der von Wickens beschriebenen Untersuchung nur drei verschiedene Amplituden vorkommen, benutzt er zur Berechnung die Formel:

$$ITD = \sum_{i=1}^3 freq_i * \log(amp_i)$$

In der vorliegenden Untersuchung kommt es aber zu einer wechselnden Anzahl n von Amplituden, so daß für unsere Zwecke die Formel wie folgt verallgemeinert werden muß:

$$ITD = \sum_{i=1}^n freq_i * \log(amp_i)$$

Die Frequenz berechnet sich in diesem Fall durch die Umkehrfunktion der Zeitdauer einer Amplitude von t_E bis t_{E+2} , d.h. in dieser Untersuchung als x-Abstand zwischen zwei Hochpunkten oder zwei Tiefpunkten. Die Formel hierfür lautet:

$$freq_i = \frac{1}{|x_i - x_{i+2}|}$$

Die Amplitude wird hierbei als halbierte Summe (=Mittelwert) der Beträge der y-Abstände zwischen dem Extremum_i und dem Extremum_{i+1} bzw. dem Extremum_{i+1} und dem Extremum_{i+2} berechnet:

$$amp_i = \frac{|y_i + y_{i+1}| + |y_{i+1} + y_{i+2}|}{2}$$

⁷⁵ 1. ... die mit dem Logarithmus der Kontrollamplitude, wie sie in Fitt's Gesetz der Bewegungszeit beschrieben ist, steigende Schwierigkeit ...
 2. ... der von Micko (1969) beobachtete exponentiale Anstieg der Schwierigkeit oder Anstrengung mit der Zeit ...

Anhand von fünf zufällig ausgewählten Trackingkurven kommt es zu einem Vergleich der drei unterschiedlichen Abschnitte. Die Berechnungen ergeben die folgenden Mittelwerte:

Tab. 6: Schwierigkeitsindexmittelwert pro Abschnitt

Abschnitt	Mittelwert
Erster variabler A.	1,216624
Zweiter konstanter A.	1,052987
Dritter variabler A.	1,024389

Die ermittelten Ergebnisse zeigen, daß geringe Unterschiede bezüglich der Schwierigkeit zwischen den Abschnitten bestehen. Dies erschwert die weitere Interpretation von Abschnittsunterschieden.

4.1.3 Voruntersuchung

Die Voruntersuchung hat mehrere Zielstellungen:

- 1) Die Überprüfung der Stabilität der Programmierung.
- 2) Die Überprüfung der Verständlichkeit von Testinstruktionen und Fragebögen.
- 3) Die Auswahl des für die Probanden angenehmen Mauspads und des dazu passenden Maustyps. Außerdem soll die angenehme Arm- und Sitzhaltung ermittelt werden.
- 4) Es sollen erste Werte erhoben werden, die die Schwierigkeit der Aufgabe überprüfen, d.h. ob und wie lange überhaupt ein Lernvorgang stattfindet. Des weiteren soll geklärt werden, wie lange die Konzentration und Motivation der Probanden andauert.
- 5) Eine erste Überprüfung bzgl. des impliziten Lernens im mittleren Abschnitt.

Aufgrund der letzten Zielstellung wird für die Voruntersuchung ein Mann mittleren Erwachsenenalters ausgewählt. Da nach Stadler (1997) die Fähigkeit des impliziten Lernens mit dem Alter zumindest im Bereich des Ereignissequenzlernens abnimmt, ist der zu erwartende Lernerfolg bei der ausgewählten Versuchsperson noch geringer als bei den Probanden der Hauptuntersuchung. Bei der Auswahl der Versuchsperson wurde weiterhin darauf geachtet, daß es sich um einen Rechtshänder handelt, damit in diesem Punkt der Großteil der Hauptuntersuchungsgruppe repräsentiert ist.

Die erhofften Resultate in der *ersten* und *zweiten* Zielstellung sind voll erfüllt, da während der Voruntersuchung keinerlei Störungen auftraten und sämtliche Tests und Fragebögen problemlos durchgeführt werden konnten.

Bei der Überprüfung der *dritten* Zielstellung ist klar geworden, daß die angenehmste Sitzposition die ist, bei der der Arm ruhig auf dem Tisch aufliegt und die Maus ungefähr

50 cm vom Bildschirm entfernt ist. Der Bildschirm wird außerdem etwas erhöht, so daß er etwa auf Augenhöhe des Probanden steht. Bei der Maus wurde der Typ Microsoft 2.0A gewählt, da er durch die der Hand angepaßten Form am besten in der Hand liegt. Das Mauspad wird nach anfänglich harter Oberfläche in eines mit weicherer Oberfläche ausgetauscht, das leichter und genauer zu steuern ist.

Die ersten drei Zielstellungen können bereits während der Voruntersuchung beobachtet und gegebenenfalls verändert werden. Die vierte und fünfte Zielstellung können allerdings erst im nachhinein überprüft werden.

Das in der *vierten* Zielstellung erhoffte Einstellen des Lernerfolgs ist in Abbildung 14 deutlich zu erkennen. Auffällig ist jedoch der Leistungseinbruch ab Durchgang 200 (s. senkrechte Linie in Abb. 14), der möglicherweise durch einen Konzentrations- und Motivationsverlust zu erklären ist, den der Proband auch in der Postbefragung äußert. Ein weiterer Beleg hierfür sind auch die typischen starken Leistungsschwankungen in diesem Bereich. Diese sind dadurch zu erklären, daß die Versuchsperson sämtliche 240 Durchgänge innerhalb eines Tages durchführt. Da die Versuchspersonen in der Hauptuntersuchung nur jeweils 120 Durchgänge pro Tag durchlaufen, ist zu erwarten, daß bei ihnen keine Einbußen durch Konzentration oder Motivation vorhanden sind.

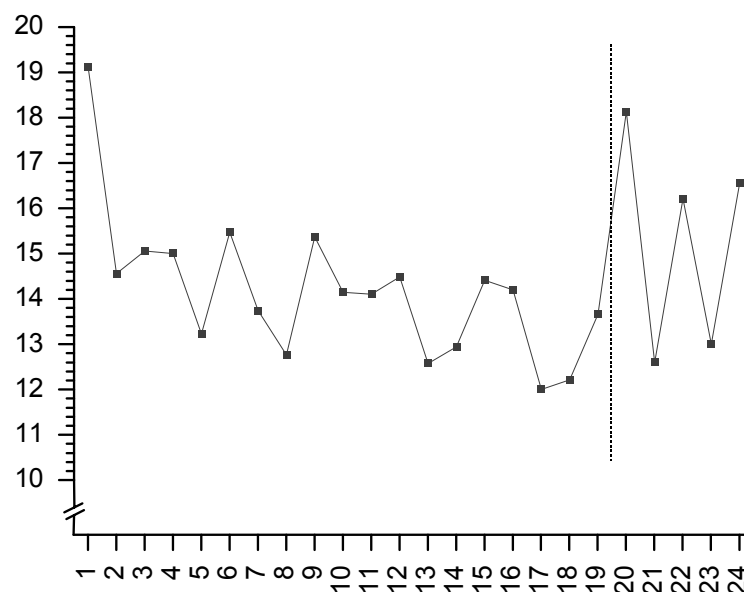


Abb. 14: Arithmetisches Mittel für die komplette Kurve (x-Achse: Blöcke von je zehn Durchgängen; y-Achse: Arithmetisches Mittel des RMS-Fehlers)

Ebenso ist die in der *fünften* Zielstellung erwartete Leistungsverbesserung im mittleren Abschnitt (2) gegenüber den beiden äußeren Abschnitten (1&3) in Abbildung 15 deutlich zu erkennen. Deutlich ist dies durch die unterschiedlichen Leistungen innerhalb der ersten zehn Durchgänge, bei denen der mittlere Abschnitt eher schlechte RMS-Werte hat, gegenüber den RMS-Werten in den Durchgängen 160-200, in denen das arithmetische

Mittel des zweiten Abschnitts beständig unter denen der äußeren Abschnitte liegt. Auffällig ist außerdem das häufige Kreuzen der beiden äußeren Abschnitte, welches ein Indiz für die Schwierigkeitsgleichverteilung innerhalb der einzelnen Abschnitte ist. Auch hier sind die Leistungseinbußen ab Durchgang 200 durch Konzentrations- und Motivationsverlust erklärbar. Dies wird besonders durch den dritten (letzten) und schlechteren Abschnitt deutlich.

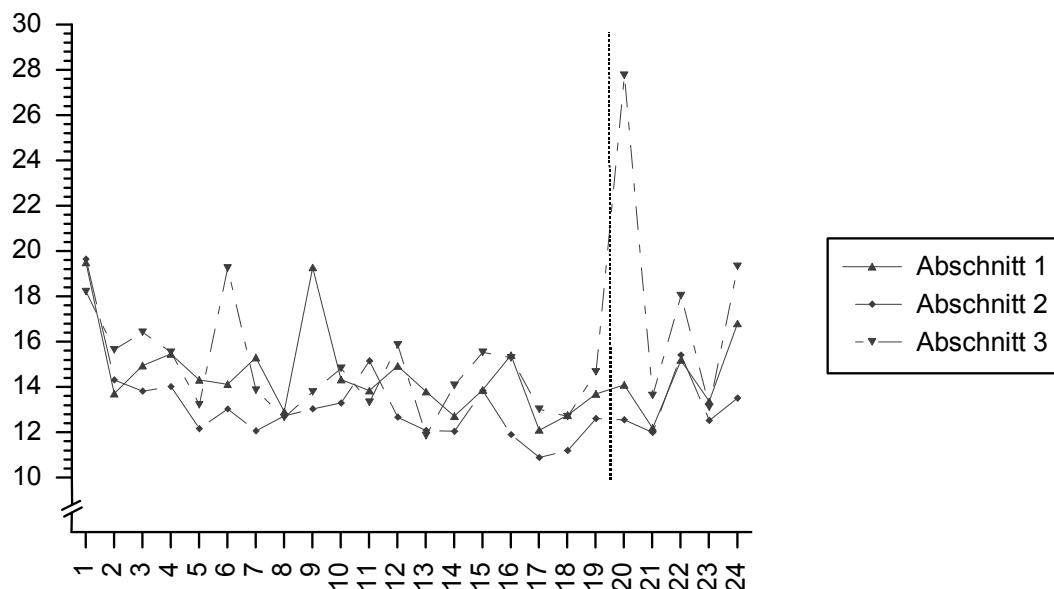


Abb. 15: Mittelwerte pro Abschnitt der Kurve (x-Achse: Blöcke von je zehn Durchgängen; y-Achse: Arithmetisches Mittel des RMS-Fehlers)

Die aus der Voruntersuchung in den einzelnen Zielstellungen gewonnenen Erkenntnisse können zu einer Optimierung der Hauptuntersuchung beitragen. So werden die geeigneten Utensilien für die Hauptuntersuchung verwendet. Ebenso werden die 240 Durchgänge der Aneignungsphase auf zwei Tage verteilt, so daß nicht mehr mit einem Leistungseinbruch durch Konzentrationsverlust zu rechnen ist.

4.2 Untersuchungsdesign und Testaufbau

Das in Abbildung 16 dargestellte Design wird anhand der Fragestellung gewählt. Es basiert auf dem Vergleich von drei Gruppen (s. 4.3.2), die alle unter verschiedenen Bedingungen das gleiche Trackingexperiment durchlaufen. Darauf folgt ein Retentionstest, mit dem die Behaltensleistung nach einer Pause geprüft werden soll (vgl. Kap. 3 H2b). Ein Transfertest, bei dem der Kurvenverlauf an der x-Achse gespiegelt ist, bildet dann den Abschluß im Rahmen der Trackingaufgaben (vgl. Kap. 3 H2c).

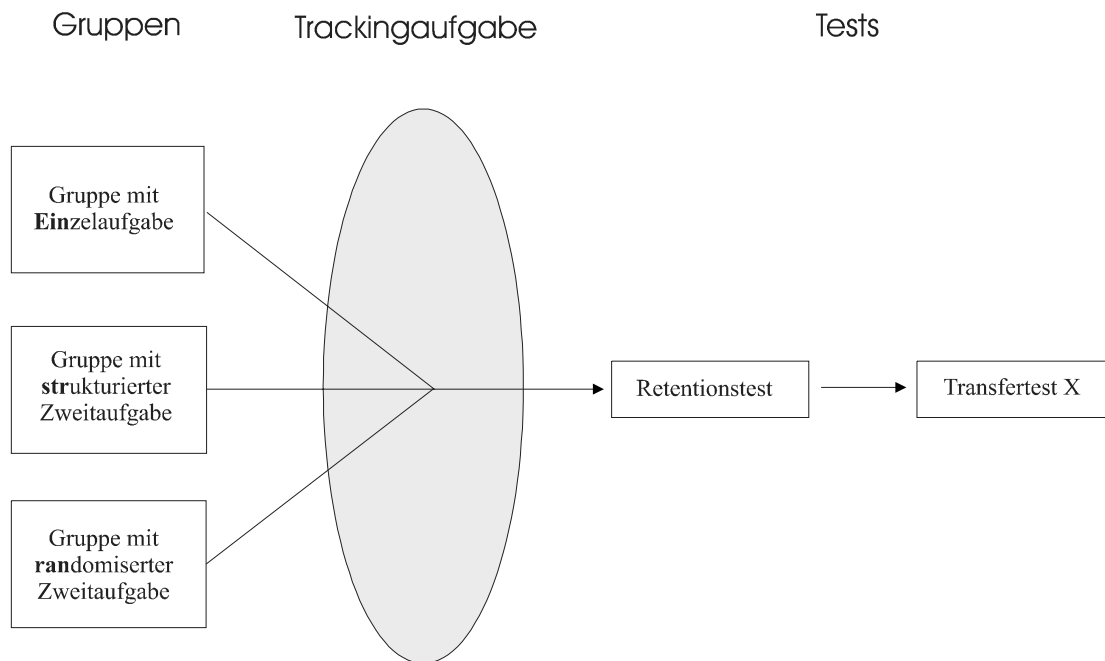


Abb. 16: Design der Untersuchung

Den Test absolviert der Proband sitzend. Vor der Versuchsperson steht ein Bildschirm (Eizo FlexScan F784-T) auf einem Tisch, dessen Platte so geschnitten ist, daß der Proband bequem seinen Arm ablegen kann.



Abb. 17: Photo des Testaufbaus

Neben dem Tisch steht ein Personal Computer (Pentium Prozessor mit 120 MHz). Daran angeschlossen ist ein Kopfhörer (Beyerdynamic DT 550), der über die Soundkarte vom Rechner gespeist wird. Nach Begrüßung und Instruktion setzt der Proband den Kopfhörer auf.

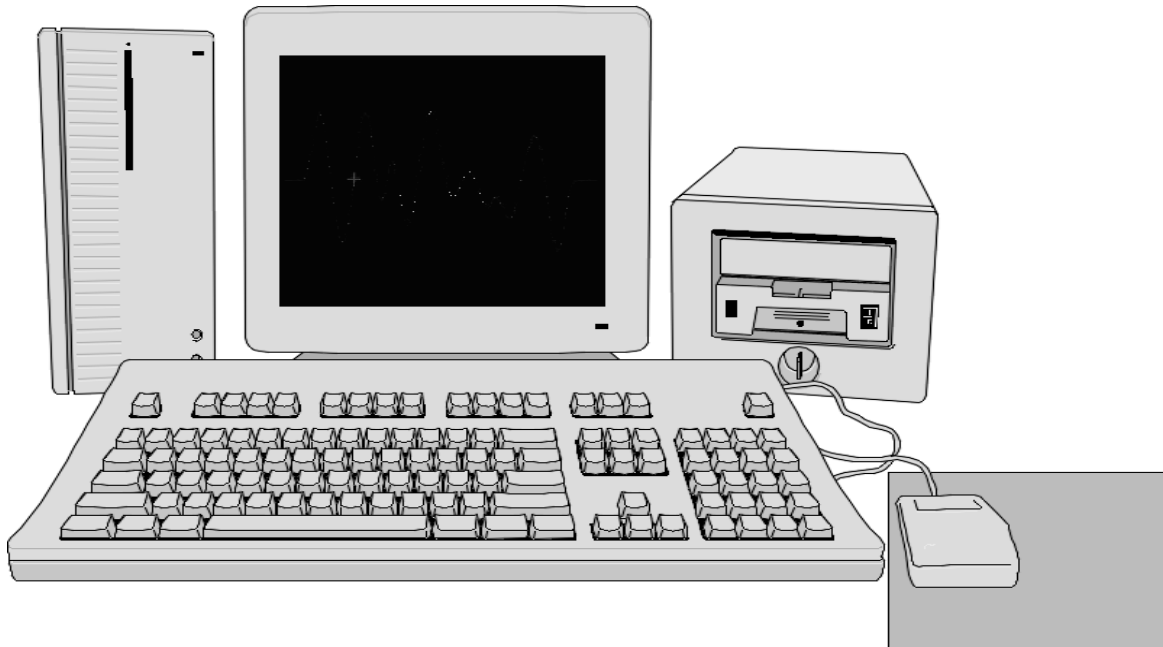


Abb. 18: Schematische Darstellung des Apparatus

Zwischen Bildschirm und dem Probanden steht einerseits die Tastatur (Key Tronic E03623ELGR) und andererseits die Maus (Microsoft 2.0A). Beide sind mit dem PC verbunden. Die Tastatur wird verwendet, um die vom Probanden gezählte Tonanzahl einzugeben. Die Maus wird für die Steuerung des weißen Folgekreuzes in der Trackingaufgabe verwendet. Sie steht auf einem weichen Mauspad, so daß sie angenehm zu handhaben ist.

4.3 Untersuchungsplanung

Die technischen Einzelheiten der Untersuchungsplanung sind bereits in Kapitel 4.1.1 behandelt worden. In den nächsten Unterkapiteln sollen jetzt die theoretischen Details dargestellt werden. Hierbei handelt es sich einerseits um die abhängigen bzw. unabhängigen Variablen und andererseits um die Versuchspersonengruppe.

4.3.1 Konzeptualisierung des Testverfahrens (abhängige Variablen)

In dieser Untersuchung werden drei direkte und eine indirekte Messung durch den PC vorgenommen:

- 1) X-Abstand zwischen dem Zielkreuzmittelpunkt und dem Folgekreuzmittelpunkt in Pixeln.
- 2) Y-Abstand zwischen dem Zielkreuzmittelpunkt und dem Folgekreuzmittelpunkt in Pixeln.
- 3) Die Differenz der Anzahl der gezählten hohen Töne zu der Anzahl der gespielten hohen Töne.
- 4) Der RMS-Fehler, der sich aus X- und Y-Abstand berechnet.

Zur Berechnung der Fehlerabweichung werden die Abschnitte 0 & 4 (jeweils 2,5 sec.) der Kurve in der Datenaufnahme nicht berücksichtigt. Die drei mittleren Abschnitte dagegen werden alle Zehntelsekunde auf den X- und Y-Abstand vermessen. Daraus errechnet sich über den Satz von Pythagoras ($a^2 + b^2 = c^2$) der diagonale Fehler, der üblicherweise als RootMeanSquare-Fehler bezeichnet wird. Daraus leitet sich hierfür folgende Formel ab:

$$x^2 + y^2 = \text{RMS}^2$$

Aus diesen Werten werden dann wiederum die Wurzeln gezogen. Aus den so gewonnenen 300 Meßwerten werden verschiedene Maße berechnet. Einerseits wird das arithmetische Mittel über alle 300 Meßzeitpunkte, andererseits werden die drei arithmetischen Mittel pro 100 Meßzeitpunkte für jeden Abschnitt einzeln berechnet.

Das Delta zwischen den hohen gezählten Töne und den hohen gespielten Tönen berechnet sich aus den beiden gespeicherten Angaben. Es wird in diesem Fall der Betrag der Differenz errechnet, da für die derzeitigen Fragestellungen kein direktes Interesse an dem Aspekt besteht: „Wurde zuviel oder zuwenig gezählt?“.

Außerdem werden in dieser Untersuchung zwei Fragebögen zu verschiedenen Bereichen eingesetzt. Im *ersten* Testfragebogen nach den ersten 120 Durchgängen der Aneignungsphase werden sowohl Persönlichkeitsmerkmale als auch Merkmale abgefragt, die sich auf die Aufmerksamkeit beziehen. Innerhalb des Bereiches der Aufmerksamkeitsmerkmale werden auch Fragen zum gleichzeitigen Handeln oder zur Aufmerksamkeitssteilung gestellt. Der *zweite* Post-Testfragebogen enthält Fragen zur Bewußtheit der Regelbildung. Er ist von oben nach unten vom Probanden zu bearbeiten, da er mit allgemeinen Fragen beginnt und zum Schluß immer konkreter abfragt (Bsp.: Es gab einen Abschnitt, der immer gleich war. Ist Dir das aufgefallen?).

4.3.2 Treatments (unabhängige Variable)

Die Treatments der einzelnen Gruppen werden anhand der Voruntersuchung und der Literaturanalyse erstellt. Daraus ergibt sich für alle Probanden eine Aneignungsphase von 240 Durchgängen (vgl. Kap. 4.1).

4.3.2.1 Gruppe mit Einzelaufgabe

Die Gruppe mit Einzelaufgabe muß 240 Durchgänge der Trackingaufgabe ohne Zweitaufgabe durchführen. Dabei besteht ihre Aufgabe darin, auf dem schwarzen Bildschirm einem roten Zielkreuz mit einem weißen Kreuz möglichst exakt zu folgen. Sie starten jeden Durchgang durch Anklicken des roten Zielkreuzes mit dem weißen Kreuz, wobei sich das rote Zielkreuz auf mittlerer Höhe am linken Rand des Bildschirms befindet. Das rote Zielkreuz durchläuft danach eine Gerade von 2,5 sec Länge (Abschnitt 0) von links nach rechts. Danach folgt ein erster Abschnitt, dessen Kurvenverlauf randomisiert ist. Diesem ersten randomisierten Kurvenverlauf folgt dann ein fester zweiter Abschnitt mit den festen Parametern (vgl. Kap. 4.1.1). Der dritte Abschnitt entspricht dann wieder dem ersten Abschnitt, wobei die Parameter wieder *neu* randomisiert sind. Die Abschnitte 1-3 haben alle eine Zeitdauer von je zehn Sekunden und damit die gleiche Länge. Der vierte Abschnitt ist dann nur noch zum „Auslaufen“ gedacht, um Effekte durch das vorzeitige Abbrechen der Verfolgung des Zielkreuzes durch den Probanden auszuschließen. Er hat eine Länge von 2,5 Sekunden. Das arithmetische Mittel der 300 Meßzeitpunkte in den Abschnitten 1-3 berechneten RMS-Fehlern wird dann als Feedback in der Mitte des Bildschirms angezeigt.

4.3.2.2 Gruppe mit randomisierter Tonzählaufgabe

Die Gruppe mit randomisierter Tonzählaufgabe muß ebenfalls die 240 Durchgänge der Trackingaufgabe durchführen. Darüber hinaus müssen sie noch Töne zählen, die sie gleichzeitig über einen Kopfhörer präsentiert bekommen. Es gibt zwei verschiedene Töne: Hohe und tiefe Töne. Die Probanden müssen die niedrigen Töne ignorieren und die hohen Töne zählen. Nach jedem Durchgang erscheint in der Mitte des Bildschirms ein weißes Fenster, in das die Summe der gezählten hohen Töne eingegeben werden muß. Danach bekommen die Versuchspersonen wie die anderen Gruppen ein Feedback über den durchschnittlichen RMS-Fehler des Durchganges. Zusätzlich wird ihnen noch eine Rückmeldung über die Richtigkeit der gezählten Töne gegeben. Die Töne sind sowohl in der Häufigkeit als auch in der Position innerhalb der Kurve randomisiert, so daß keinerlei Struktur oder Regel erkennbar ist.

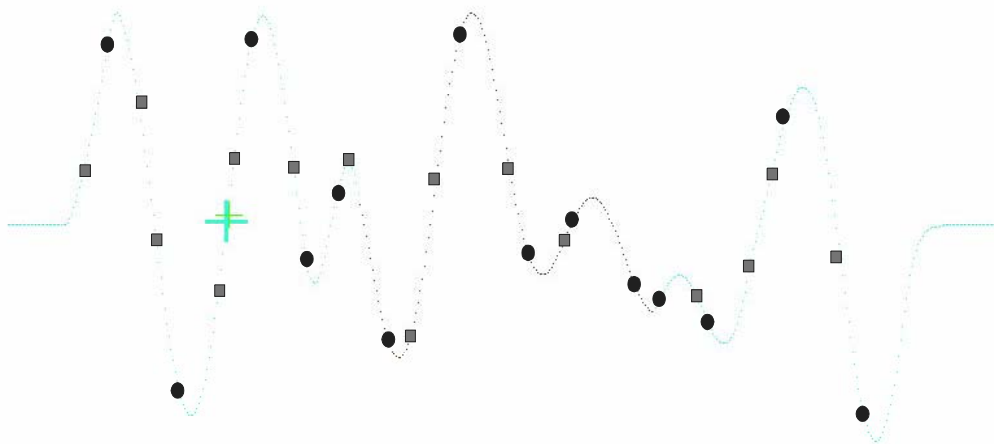


Abb. 19: Beispielkurve (Quadrate = randomisierte hohe Töne; Kreise = strukturierte hohe Töne)

4.3.2.3 Gruppe mit strukturierter Tonzählaufgabe

Anders dagegen in der Gruppe mit strukturierter Tonzählaufgabe, bei der sich die hohen Töne jeweils 250 ms vor den Extrema der Funktion befinden. Dieser Zeitabschnitt wurde aufgrund der Theorie des klassischen Konditionierens (vgl. Pawlow 1953) gewählt. Der optimale Zeitraum zwischen Stimulus und Response wird in Birbaumer & Schmidt (1990) mit 200-400 Millisekunden angegeben. Wegen der notwendigen hohen Tondichte (1 Ton pro Extremum) von etwa 20 Tönen ist die Zeitspanne mit 250 Millisekunden an die untere Grenze des Intervalls gesetzt (s. Abb. 19). Innerhalb dieses 50 Millisekundenintervalls zwischen unterster Grenze und festgelegtem Tonanfang ist der Ton für ein Intervall von 52 Millisekunden zu hören, so daß das unterste mögliche Intervall genutzt wird. Die tiefen Töne sind weiterhin randomisiert auf die Kurve verteilt. Natürlich nimmt auch diese Gruppe simultan zu dieser Tonzählaufgabe an der Trackingaufgabe teil.

4.3.3 Versuchspersonen

Die Personenstichprobe umfaßt 30 Studierende, die alle an der Universität Heidelberg im Institut für Sport und Sportwissenschaft eingeschrieben sind. Meist haben sie bereits eine geringe Vorerfahrung am Computer und mit der Maus. Die Probanden werden nach Geschlecht und Händigkeit gleichmäßig in die einzelnen Gruppen eingeteilt. Es handelt

sich dabei um 16 Frauen und 14 Männern unter ihnen 5 Linkshänder und 25 Rechtshänder. Das Durchschnittsalter liegt bei 26,8 Jahren, wobei alle Probanden zwischen 21 und 32 Jahren alt sind.

4.4 Untersuchungsdurchführung

Hier soll zunächst der Zeitraum und Ablauf der Untersuchung und dann der Untersuchungsort dargestellt werden.

4.4.1 Untersuchungszeitraum und -ablauf

Die Untersuchung wird innerhalb von vier Wochen im Oktober durchgeführt. Innerhalb von zwei aufeinander folgenden Tagen absolvieren die Versuchspersonen das komplette Treatment und die zwei Tests. Am ersten Tag werden die Probanden vom Testleiter begrüßt und bekommen schriftliche Instruktionen (vgl. Kap. 8.1). Danach verläßt der Testleiter den Raum, um keinerlei Aufmerksamkeitsablenkung zu verursachen. Die Probanden vollführen daraufhin 120 Durchgänge zur Aneignung. Hinterher füllen sie einen Fragebogen (vgl. Kap. 8.2) zur Überprüfung der Kontrollvariablen aus. Am zweiten Tag folgen noch einmal 120 Durchgänge zur Aneignung. Nach einer kurzen Pause von 3 Minuten folgt dann der Retentionstest. Direkt danach absolvieren die Probanden den Transfertest X. Darauf folgt der Fragebogen zum impliziten Lernen (vgl. Kap. 8.3), dessen Fragen der Reihe nach beantwortet werden müssen, so daß keinerlei Rückschlüsse von späteren Fragen auf frühere Fragen gezogen werden können. Die Gesamtdauer der beiden Sitzungen beträgt pro Proband durchschnittlich 3,5 Stunden.

4.4.2 Untersuchungsort

Das Experiment wird im Diagnoseraum 1 des Institutes für Sport und Sportwissenschaft der Universität Heidelberg vom Verfasser durchgeführt.



Abb. 20: Versuchsperson im Testraum

Der Vorteil dieses Raumes liegt in der Möglichkeit, alles zu verdunkeln, sowie der Möglichkeit, den Probanden in eine dunkle Umgebung zu setzen. Des weiteren ist er geräuscharm, so daß keine weiteren unerwünschten Aufmerksamkeitsattraktoren vorhanden sind, die die Versuchsperson ablenken können.

5 Ergebnisse und Interpretation

Dieses Kapitel ist in fünf Unterkapitel gegliedert. Als erstes soll beschrieben werden, welche Beobachtungen wie ausgewertet werden. Danach werden die erhobenen Daten deskriptiv dargestellt. Zur Überprüfung der Hypothesen wird dann die Inferenzstatistik für ausgewählte Fragestellungen angewandt. Die Ergebnisse des zweiten Fragebogens werfen eine Zusatzfragestellung auf, die im vierten Unterkapitel betrachtet werden soll. Zum Abschluß kommt es zu einer Interpretation der Ergebnisse.

5.1 Auswertung

In dem Unterkapitel „Auswertung“ soll zunächst die Untersuchung auf die klassischen Testgütekriterien überprüft werden. Darauf folgt die Beschreibung der erhobenen Variablen.

5.1.1 Testgütekriterien

In der klassischen Testtheorie werden an Meßergebnisse, die durch einen Test erhoben werden, folgende Hauptgütekriterien angelegt⁷⁶:

- Objektivität
- Reliabilität
- Validität.

Diese geforderte Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Gültigkeit wird im folgenden für die beiden Tests und die beiden Fragebögen belegt werden. Da der Trackingtest und der Tonzähltest in einer Programmierung gleichzeitig aufgenommen werden und daher für beide die gleichen Kriterien gelten, werden sie gemeinsam betrachtet.

Die *Objektivität* zeigt, inwieweit die Meßergebnisse unabhängig von der testenden Person sind. Durch eine Standardisierung der Tests kann die *Durchführungsobjektivität* gesichert werden. In diesem Fall ist durch die standardisierten Testinstruktionen, Fragebögen und Testabläufe die *Durchführungsobjektivität* gewährleistet. „Die *Auswertungsobjektivität* meint die *Unabhängigkeit der Resultate vom Auswerter*“ (Rogge 1995, 91). Die erste Auswertung der beiden Tests erfolgt bereits während der Testdurchführung im Computer. Die Messung erfolgt dabei alle Zehntelsekunde und die Ergebnisse sind auf Pixelgenauigkeit. Der zweite Teil der Auswertung erfolgt dann über Excel Makros. Beide

⁷⁶ Nach Rogge 1995, 91

Teile sind somit vom Bearbeiter unabhängig. Die Auswertungsobjektivität ist vollständig gegeben. Durch die gegebenen Umstände kann in diesem Fall auf eine empirische Überprüfung der Objektivität verzichtet werden, und trotzdem kann die Untersuchung als objektiv betrachtet werden.

Die *Reliabilität* zeigt, „... inwieweit der Test das, was er mißt, genau mißt“ (Rogge 1995, 91). Die Überprüfung der Reliabilität wird über ein Maß der inneren Konsistenz vorgenommen. Dabei handelt es sich um die Spearman-Brown-Formel zur Bestimmung der split-half-Reliabilität. Die Halbierung erfolgt „... nach geradzahligen und ungeradzahligen Aufgaben (odd-even-Methode)“ (Lienert/Raatz 1994⁵, 183), d.h. im vorliegenden Fall nach Durchgängen.

Tab. 7: Reliabilitätskoeffizienten nach Spearman-Brown-Formel

Test	Reliabilitätskoeffizient
Trackingtest	0,9479299
Tonzählaufgabe	0,4632968

In dieser Formel von Spearman-Brown wird angenommen, daß die beiden Standardabweichungen s_1 und s_2 gleich sind ($s_1=s_2$). Da hier jedoch möglicherweise Unterschiede gegeben sind, werden die Ergebnisse durch die nachfolgende, von Flanagan entwickelte Rulon-Schätzformel, neu berechnet.

$$r_{tt} = \frac{4s_1s_2r_{12}}{s_1^2 + s_2^2 + 2s_1s_2r_{12}}$$

r_{12} = Halbttest-Reliabilitätskoeffizient

s_1 = Standardabweichung der Rohwerte aus Testhälfte 1

s_2 = Standardabweichung der Rohwerte aus Testhälfte 2

r_{tt} = Gesamttest-Reliabilität

Tab. 8: Geschätzte Reliabilitätskoeffizienten (nach Rolon)

Test	Reliabilitätskoeffizient
Trackingtest	0,9476952
Tonzählaufgabe	0,4005174

Die Tabelle 8 zeigt die neu berechneten Werte. Der Reliabilitätskoeffizient der Trackingaufgabe weist nach Bös (1986) einen hohen Zusammenhang und bei der Tonzählaufgabe einen mittleren Zusammenhang auf. Die Reliabilität für die Trackingaufgabe kann für die weitere Interpretation akzeptiert werden. Der Wert des Reliabilitätskoeffizienten ist allerdings so gering, daß Bedenken bei der weiteren Auswertung der Tonzählaufgabe

angemeldet werden müssen. Aus diesem Grund wird das Hauptaugenmerk in der weiteren Auswertung auf die Trackingaufgabedaten gelegt werden.

Die *Validität* für die Tests ist extern gering und intern hoch einzuschätzen. Bei dieser Laboruntersuchung sind die Störvariablen kontrollierbar und die Ergebnisse können störungsfrei erhoben werden, was sie eindeutig interpretierbar macht. Die Validität wird auch durch die Eindeutigkeit der Hypothesen unterstützt. Zusammenfassend kann man also davon ausgehen, daß die Testgütekriterien der klassischen Testtheorie erfüllt sind.

5.1.2 Fehlermaße und Variablen

Es kommt bei den Gruppen mit Doppelaufgabe zur Messung von zwei Fehlermaßen. Hierbei handelt es sich einerseits um den RMS-Fehler und andererseits um die Prozentzahl der richtig gezählten Töne.

5.1.2.1 Trackingaufgabe

Bei der Trackingaufgabe werden zwei direkte und ein indirekter Wert gemessen. Direkt wird (a) der Abstand zwischen dem Zielkreuz und dem Folgekreuz in der horizontalen Ebene ($x_z - x_f$) und (b) der Abstand zwischen dem Zielkreuz und dem Folgekreuz in der vertikalen Ebene ($y_z - y_f$) gemessen. Die Messung erfolgt in Pixelabstand, wobei der Bildschirm eine Auflösung von 800x600 Pixeln hat. Daraus errechnet sich über den Satz von Pythagoras der sogenannte RMS-Fehler:

$$\text{RMS}^2 = (x_z - x_f)^2 + (y_z - y_f)^2$$

Es werden alle Zehntelsekunde die drei Meßwerte erhoben, so daß innerhalb von dreißig Sekunden 300 Meßzeitpunkte aufgezeichnet werden. Diese 300 Meßzeitpunkte sind wiederum der Kurve entsprechend in drei gleichgroße Abschnitte gegliedert, so daß nach jedem Durchgang jeweils das arithmetische Mittel für alle drei Abschnitte und der gesamten Kurve berechnet wird.

5.1.2.2 Tonzählaufgabe

Bei der Tonzählaufgabe werden dem Probanden hohe und tiefe Töne über einen Kopfhörer präsentiert, wobei die tiefen Töne ignoriert und die hohen Töne gezählt werden müssen. Die gezählten hohen Töne werden dann in Relation zu den tatsächlich präsentierten hohen Tönen gesetzt, so daß eine Prozentzahl entsteht. Diese berechnet sich über die Formel:

$$T_{\%} = \frac{T_R - |T_R - T_G|}{T_R}$$

$T_{\%}$ = Errechner relativer Tonprozentwert

T_G = Anzahl der gezählten Töne

T_R = Anzahl der real präsentierten Töne

Durch die Subtraktion des Betrages der Differenz der gezählten und der real präsentierten Töne kann man dann die Werte der beiden Gruppen vergleichen. Diese Relativierung ist notwendig, da die Anzahl der präsentierten Töne über die einzelnen Durchgänge und die Gruppen variiert.

5.2 Deskriptive Statistik

In der deskriptiven Statistik soll zunächst nur eine Beschreibung der Daten geleistet werden. Die interessanten Befunde sollen dann in der Inferenzstatistik auf ihre Signifikanz überprüft werden.

5.2.1 Versuchspersonen-Ranking

Mit Hilfe des „Vpn-Scatters“ kann man die Ergebnisse aller Versuchspersonen für den ersten Block vergleichen.

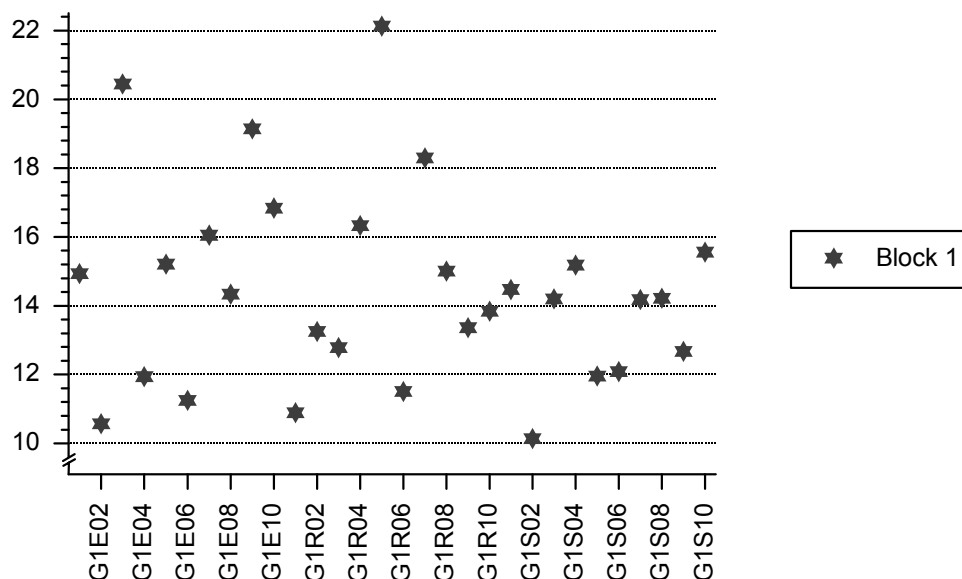


Abb. 21: Scatter der VPN für Block 1 (x-Achse: Versuchspersonennummer; y-Achse: Durchschnittlicher RMS-Fehler im 1. Block)

Auffällig ist hierbei die geringere Streuung bei der strukturierten Gruppe (G1S 1-10) gegenüber den beiden anderen Gruppen (G1E 1-10 und G1R 1-10).

5.2.2 Gruppendarstellung

Um die Gruppen vergleichen zu können, werden ein Maß der zentralen Tendenz und ein Maß der Streuung errechnet. Bei den angegebenen Werten handelt es sich um das arithmetische Mittel und die jeweilige Standardabweichung, die in Klammern gesetzt wird.

Tab. 9: Gruppenwerte der Trackingaufgabe

Gruppe	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block 5	Block 6	Retention	Transfer
Einzel	15,07 (3,24)	14,56 (3,82)	14,46 (3,52)	12,94 (2,64)	13,14 (3,10)	12,81 (2,97)	11,74 (2,44)	12,40 (2,33)
Random	14,74 (3,39)	14,25 (3,30)	14,24 (3,06)	13,44 (1,90)	13,67 (2,26)	12,81 (1,66)	12,32 (1,52)	12,34 (1,20)
Struktur	13,46 (1,69)	13,12 (2,10)	12,59 (1,84)	12,18 (1,54)	11,27 (1,23)	11,03 (1,12)	11,11 (1,34)	10,97 (1,00)
Gesamt	14,42 (2,86)	13,98 (3,11)	13,76 (2,92)	12,07 (2,07)	12,69 (2,48)	12,22 (2,17)	11,72 (1,83)	11,91 (1,70)

Betrachtet man die Mittelwerte der gesamten Stichprobe, kann ein klarer Lernverlauf gesehen werden. Dies ist ebenso bei jeder einzelnen Gruppe festzustellen. Besonders auffällig sind die unterschiedlichen Standardabweichungen zwischen den Gruppen. Die Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe zeigt von Anfang an eine deutlich geringere Standardabweichung. Dies spricht für eine homogenere Gruppe, die mit Hilfe von zwei Ansätzen erklärt werden kann:

- 1) Die Gruppe ist rein zufällig homogener, d.h. die Gruppenzusammensetzung sorgt dafür, daß die Gruppe keine großen Leistungsunterschiede aufweist.
- 2) Die Homogenität beruht auf der Strukturierung der Trackingaufgabe.

Die Überprüfung der beiden Erklärungsansätze wird Teil der Inferenzstatistik sein.

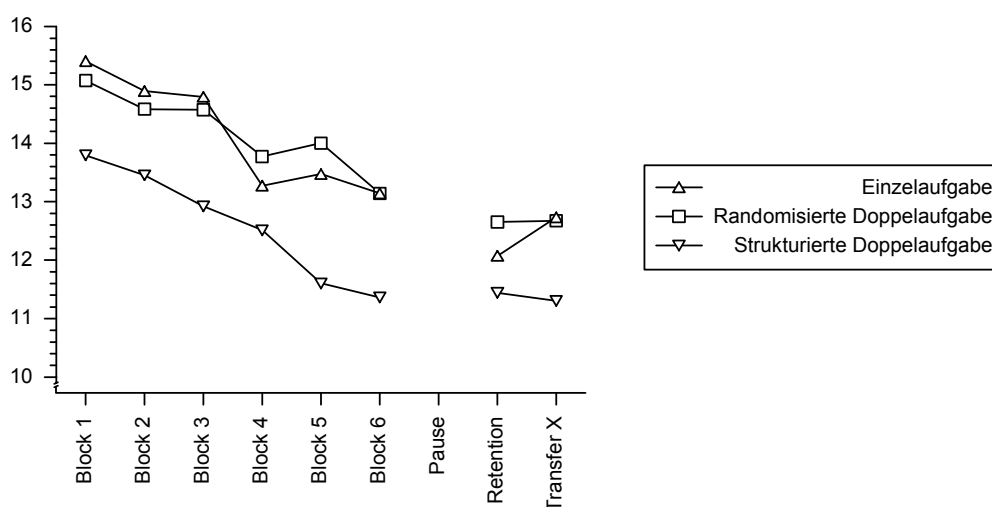


Abb. 22: Übersicht über alle Gruppen pro Block (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)

Bei den Mittelwerten kann man den oben angesprochenen Lernverlauf in Abb. 22 erkennen. Er verläuft linear über alle Gruppen. Die fehlende Stetigkeit bei der Gruppe mit Einzelaufgabe und der Gruppe mit randomisierter Doppelaufgabe in Block 5 muß möglicherweise über Motivationsverluste erklärt werden, da die Trackingaufgabe zwischen den Blocks nicht schwieriger wurden. Auffällig ist weiterhin, daß sich die Gruppe mit Einzelaufgabe und die Gruppe mit randomisierter Doppelaufgabe kaum unterscheiden. Bei beiden ist eine deutliche Lernverbesserung über Nacht zwischen Block drei und vier zu erkennen. Dies könnte ein Beleg für implizites Lernen sein, wenn diese Lernverbesserung besonders im zweiten Abschnitt zu erkennen wäre. Unverständlicherweise ist diese Lernverbesserung über Nacht nicht bei der Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe zu erkennen. Interessant ist außerdem die Transferleistung der Gruppe mit Einzelaufgabe gegenüber den beiden anderen Gruppen. Hier verschlechtert sich das Ergebniss deutlich, während bei den anderen beiden Gruppen keine Leistungsver schlechterung zu sehen ist.

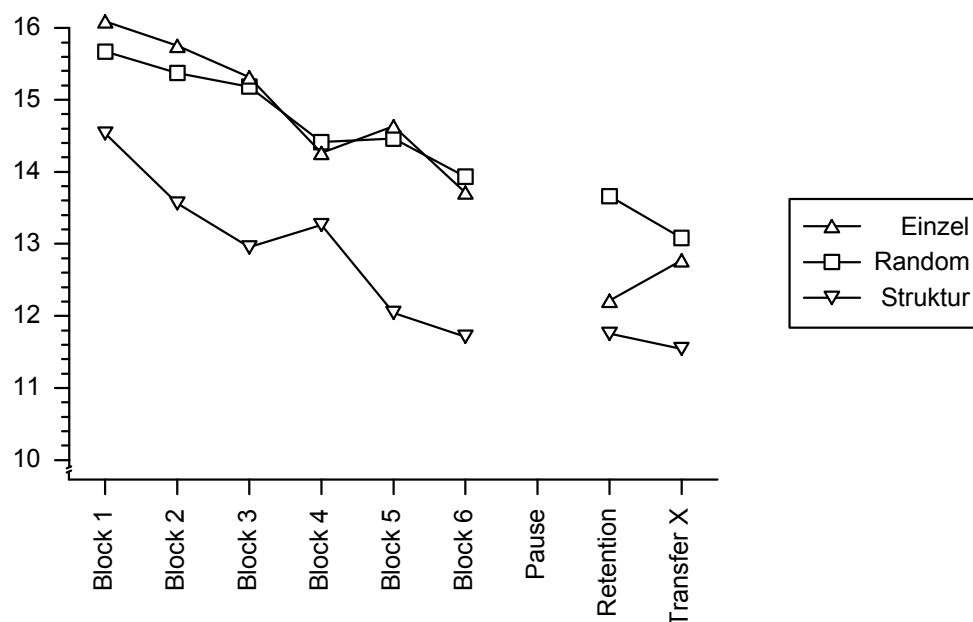


Abb. 23: Gruppenvergleich in Abschnitt 1 (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)

Auch im Vergleich der Gruppen im ersten Abschnitt (s. Abb. 23) fällt dieser Transferverlust der Gruppe mit Einzelaufgabe auf. Die beiden Gruppen mit Doppelaufgabe verbessern sich hier in ihrer Leistung. Auffällig ist außerdem der Leistungsverlust der strukturierten Gruppe von Block 3 (1. Tag) zu Block 4 (2. Tag).

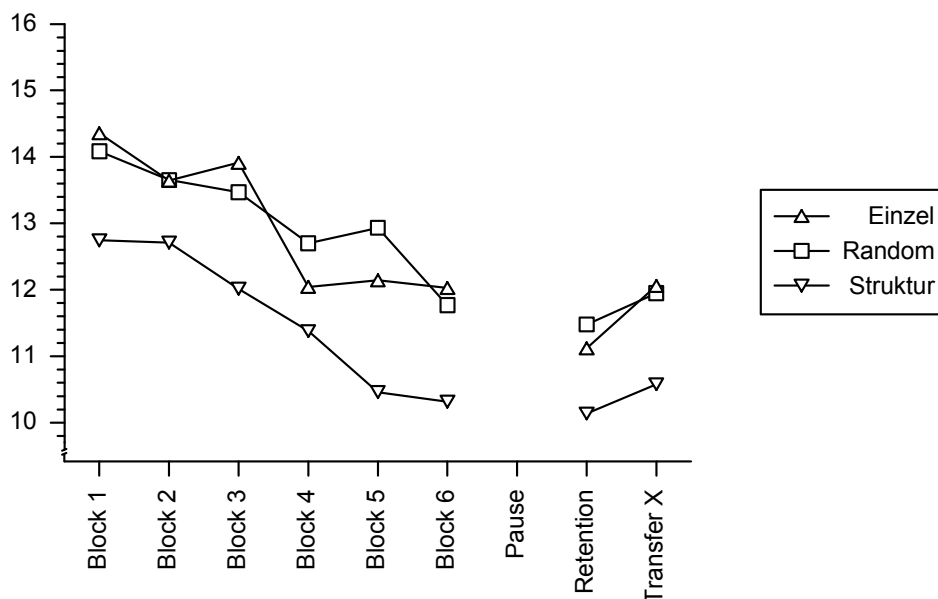


Abb. 24: Gruppenvergleich in Abschnitt 2 (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)

Über alle Gruppen ist im 2. Abschnitt die Lernverbesserung über Nacht (Block 3 zu 4) beobachtbar. Insbesondere die Gruppe mit Einzelaufgabe verbessert sich hier deutlich. Im Retentionstest ist, wie in den Hypothesen erwartet, nach der Pause keine Leistungsver schlechterung zu beobachten. Hypothesenkonform ist auch die starke Leistungsver schlechterung im Transfertest bei allen Gruppen zu beobachten.

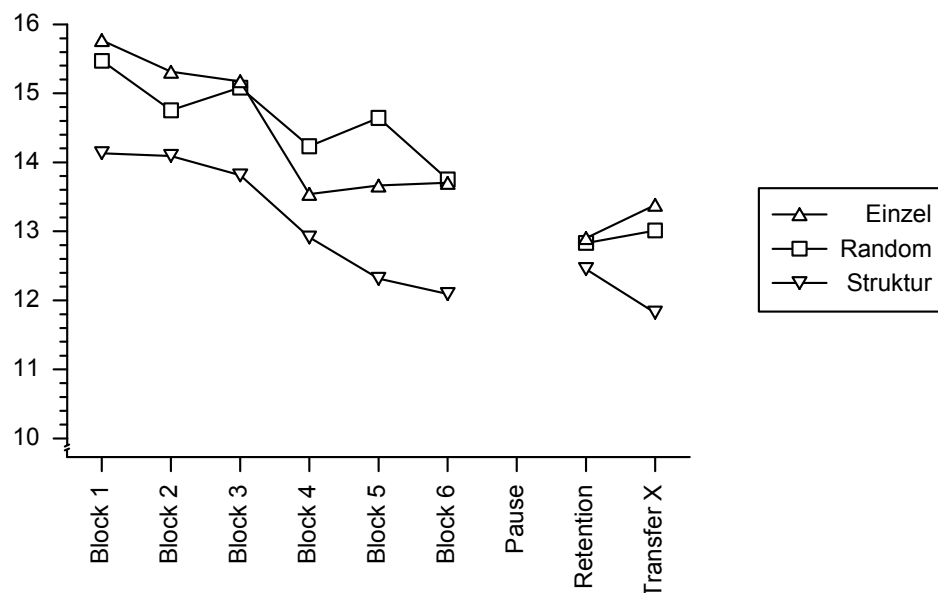


Abb. 25: Gruppenvergleich in Abschnitt 3 (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)

Wie in allen anderen Abschnitten ist auch in Abschnitt 3 eine deutliche Lernentwicklung zu erkennen. Interessant zu beobachten ist der Kurvenverlauf der Gruppe mit Einzelaufgabe und der Gruppe mit randomisierter Doppelaufgabe. Sie starten und enden in der Aneignungsphase auf etwa dem gleichen Level, wobei sich ihre Verläufe kreuzen. Im Retentionstest sind die Leistungen aller Gruppen etwa gleich. Im Transfertest kommt es

dagegen zu einer Verbesserung der Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe, während sich die anderen beiden Gruppen wieder deutlich verschlechtern. Da dieser Trend sowohl im variablen Abschnitt 1 als auch im variablen Abschnitt 3 zeigt, nicht aber im konstanten 2. Abschnitt, kann dies in Richtung der Lernverbesserung durch Strukturierung interpretiert werden.

5.2.3 Abschnittsdarstellung

Besonders bei der Abschnittsdarstellung sollen die Ergebnisse des Schwierigkeitsindex mit einbezogen werden. Die Ergebnisse (vgl. Kap. 4.1.2) zeigen etwa das gleiche Schwierigkeitsniveau bei Abschnitt 2 und Abschnitt 3, aber eine erhöhte Schwierigkeit für Abschnitt 1.

Tab. 10: Abschnittswerte der Trackingaufgabe

Gruppe	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block 5	Block 6	Retention	Transfer
Abschnitt 1 (variabel)	15,10 (2,84)	14,56 (3,25)	14,15 (3,07)	13,65 (2,22)	13,38 (2,74)	12,79 (2,24)	12,21 (2,23)	12,14 (2,12)
Abschnitt 2 (konstant)	13,37 (2,90)	12,98 (3,00)	12,78 (2,98)	11,69 (1,90)	11,49 (2,31)	11,02 (1,97)	10,56 (1,59)	11,18 (1,60)
Abschnitt 3 (variabel)	14,79 (2,94)	14,39 (3,25)	14,36 (2,92)	13,23 (2,18)	13,21 (2,56)	12,85 (2,44)	12,40 (2,07)	12,40 (1,65)

Die erhöhte Schwierigkeit in Abschnitt 1 spiegelt sich im Anfangsblock wieder. Doch sind schon hier im konstanten 2. Abschnitt von den Probanden bessere Leistungen zu sehen als beim variablen 3. Abschnitt. Der anfängliche Unterschied zwischen den beiden variablen Abschnitten reguliert sich bis zum Ende der Aneignungsphase. Am interessantesten ist jedoch die Betrachtung der Standardabweichung in dieser Tabelle. Hier fällt auf, daß die Standardabweichung in Block 1 über alle drei Abschnitte etwa gleich ist. Sie reduziert sich über alle drei Abschnitte unterschiedlich stark. Dies ist ein Indiz für den stattfindenden Lernprozeß. In Block 6 ist schließlich eine deutlich kleinere Standardabweichung im konstanten zweiten Abschnitt als bei den beiden variablen Abschnitten zu beobachten. Man kann also sehen, daß die interindividuellen Unterschiede im konstanten zweiten Abschnitt geringer werden. Dies ist nach der Definition von Reber (vgl. Kap. 2.2) ein Indiz für implizites Lernen.

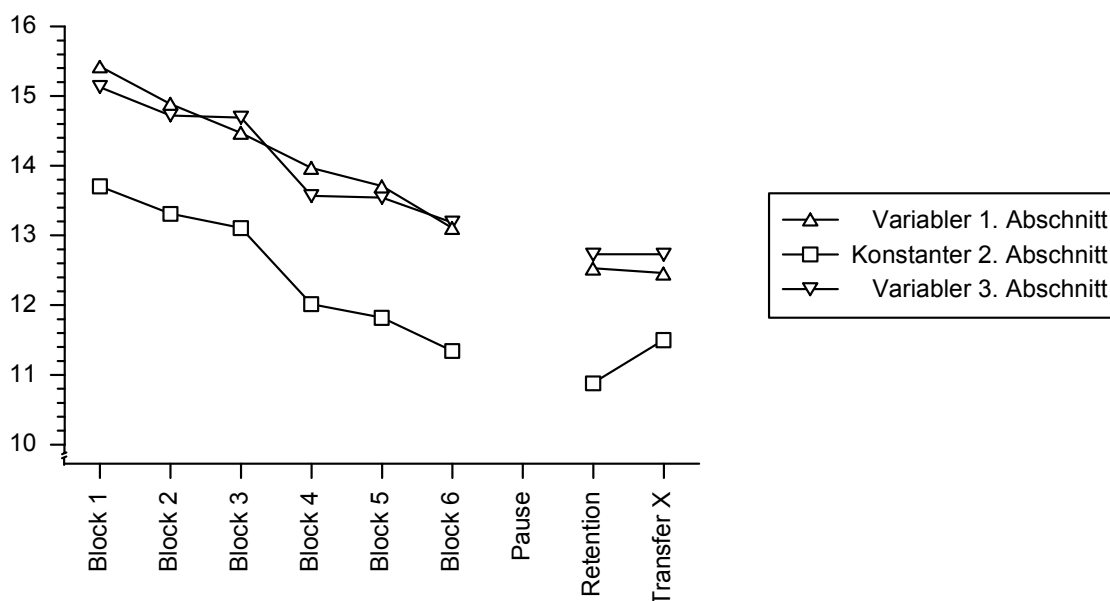


Abb. 26: Übersicht pro Abschnitt über alle Gruppen (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)

Ein weiteres Indiz ist die deutliche Leistungsverschlechterung im 2. Abschnitt im Transfertest. Dieses Indiz nutzt u.a. Berry für ihre Definition von implizitem Lernen. Sie schreibt zur Definition von implizitem Lernen neben anderen Charakteristika folgendes: „... Shows transfer specificity: relative inaccessibility of knowledge with free recall, limited accessibility of knowledge with forced choices, and limited transfer to related tasks“⁷⁷ (Berry 1994, 771). Da die Verschlechterung der Leistung nur im konstanten Abschnitt 2 zu beobachten ist, kann dies als weiterer Beleg für implizites Lernen betrachtet werden.

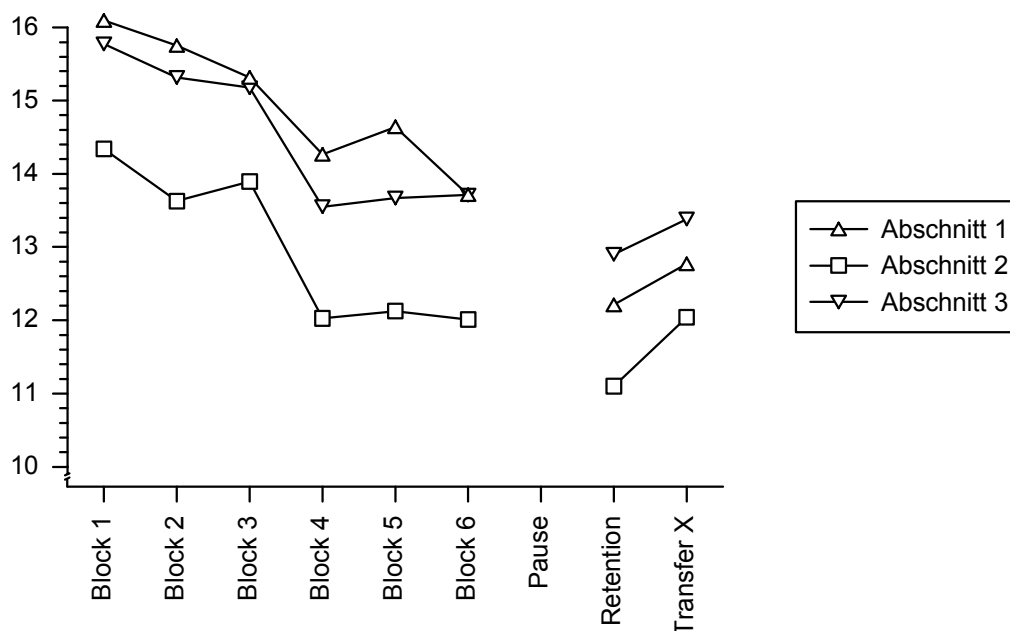


Abb. 27: Gruppe mit Einzelaufgabe pro Abschnitt (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)

⁷⁷ Zeigt Transferspezifität: Relative Unerreichbarkeit bei freier Abfrage, begrenzte Abrufbarkeit des Wissens mit Forced-Choice-Aufgaben und begrenzte Transferleistung bei ähnlichen Aufgaben.

Bei der Gruppe mit Einzelaufgabe kann besonders die starke Lernverbesserung zwischen dem ersten und dem zweiten Tag beobachtet werden. Sie ist nicht nur auf den zweiten Abschnitt beschränkt, sondern ist auch bei den beiden anderen Abschnitten zu verzeichnen. Die Leistungseinbußen im Transfertest sind auch über alle anderen Abschnitte beobachtbar, wobei sie im zweiten Abschnitt noch stärker sind als in Abschnitt 1&3.

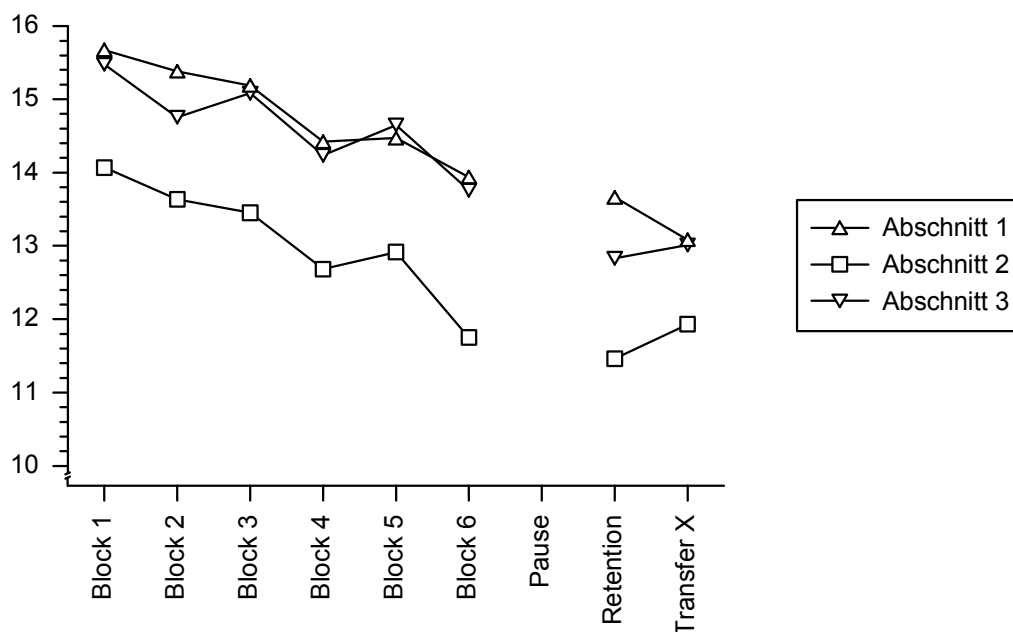


Abb. 28: Gruppe mit randomisierter Zweitaufgabe pro Abschnitt (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)

Bei der Gruppe mit randomisierter Doppelaufgabe ist im Transfertest ein uneinheitliches Bild zu beobachten. Der zweite Abschnitt verschlechtert sich hypotesenkonform. Bei den beiden äußeren Abschnitten ist sowohl eine Leistungsverschlechterung als auch eine Leistungsverbesserung zu beobachten.

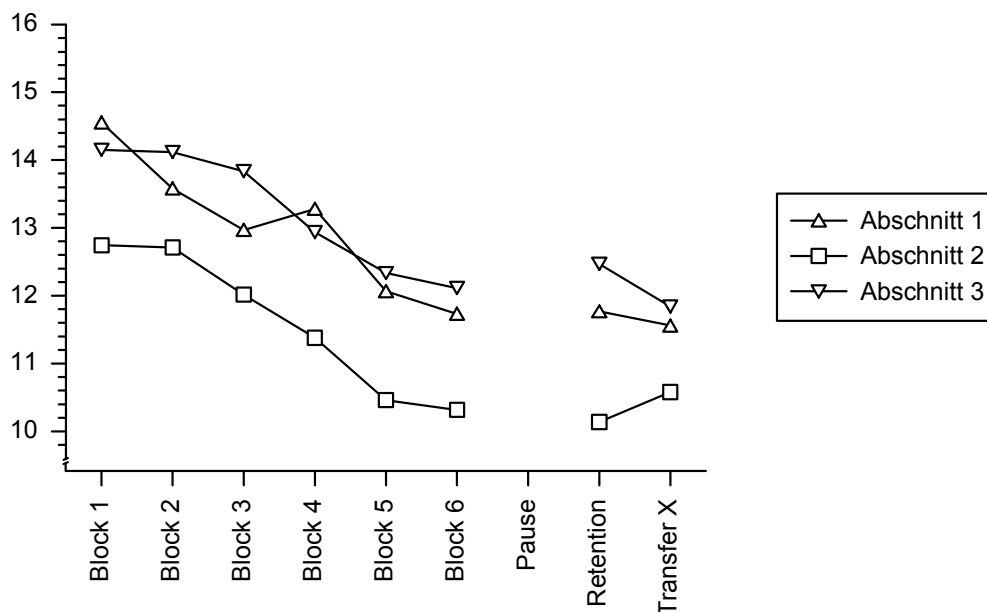


Abb. 29: Gruppe mit strukturierter Zweitaufgabe pro Abschnitt (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)

Anders dagegen bei der Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe. Hier ist im Transfertest bei beiden äußeren Abschnitten eine Leistungsverbesserung zu verzeichnen. Außerdem sieht man eine klare Leistungsver schlechterung im konstanten mittleren Abschnitt. Dies spricht dafür, daß in dieser Gruppe sowohl der konstante Abschnitt als auch die Strukturierung ausschlaggebende Faktoren beim Lernen sind.

5.2.4 Tonzählaufgabendarstellung

Die gegebenen Probleme mit der Tonzählaufgabe bzgl. der Reliabilität (vgl. Kap. 5.1.1) machen die Interpretation der Ergebnisse schwierig. Daher sollen die Ergebnisse hier nur beschrieben werden. Auf eine Interpretation wird verzichtet.

Tab. 11: Gruppenmittelwerte bei der Tonaufgabe (in Prozent angegeben)

Gruppe	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block 5	Block 6	Retention	Transfer
Random	0,9419	0,9621	0,9622	0,9717	0,9646	0,9644	0,9742	0,9699
Struktur	0,9690	0,9762	0,9820	0,9784	0,9788	0,9816	0,9783	0,9778

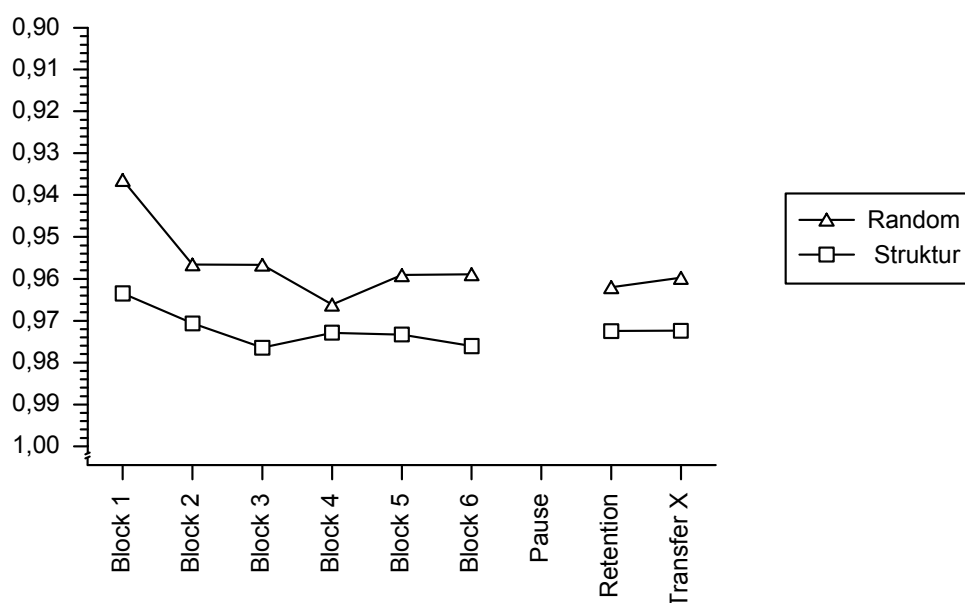


Abb. 30: Übersicht Töne pro Gruppe (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)

Im ersten Block ist eine gering schlechtere Tonzählleistung bei der Gruppe mit randomisierter Doppelaufgabe zu beobachten. Danach nivellieren sich die Leistungen der beiden Gruppen, so daß kaum noch ein Unterschied zu sehen ist. Es sind auch für die Inferenzstatistik kaum signifikante Ergebnisse zu erwarten, so daß auf deren Darstellung im folgenden verzichtet wird⁷⁸.

⁷⁸ Die entsprechenden T-Tests sind gerechnet worden und zeigen keinerlei signifikante Ergebnisse.

5.2.5 Ergebnisse aus Fragebogen 1

Mit dem Fragebogen des ersten Tages wird eine Überprüfung der möglichen Variablen, die einen Einfluß auf das Testergebnis haben können, angestrebt. Unter diese fallen z.B. Händigkeit, PC-Vorerfahrung etc.. In keiner dieser Variablen sind starke Unterschiede zwischen den Gruppen zu sehen. Auch bei der subjektiven Selbsteinschätzung von Bewegungsneulernen kann zwischen den Gruppen keinerlei Unterschied festgestellt werden. Beim Instruktionsverständnisscheck geben 25 Befragte vollständiges und fünf fast vollständiges Verständnis an.

Zwischen den beiden Gruppen mit Doppelaufgabe gibt es bei den Zusatzfragen interessante Unterschiede. Auf die Frage, ob die Töne eher gestört oder unterstützt haben, antworten bei der Gruppe mit randomisierter Zweitaufgabe sieben mit gestört und drei mit unterstützt. Genau umgekehrt verhält es sich bei der Gruppe mit strukturierter Zweitaufgabe. Hier fühlen sich durch die Töne nur drei gestört, aber sieben unterstützt. Auch bei der subjektiven prozentualen Aufmerksamkeitsverteilung auf die beiden Aufgaben sind Unterschiede beobachtbar. Die Gruppe mit randomisierter Zweitaufgabe beschäftigt zu 44,5 % die Tonaufgabe und zu 55,5 % die Trackingaufgabe (jeweils arithmetisch gemittelt). Bei der Gruppe mit strukturierter Zweitaufgabe werden dagegen nur 33 % für die Tonzählaufgabe, aber immerhin 67 % für die Trackingaufgabe verwendet. Es kann also zusammenfassend gesagt werden, daß in den kontrollierten Variablen zur Trackingaufgabe zwischen den Gruppen keine Unterschiede festgestellt werden. Bei den Zusatzfragen für die Gruppen mit Doppelaufgabe ist eine Tendenz feststellbar, die die Hypothesen zur Struktur unterstützt.

5.2.6 Ergebnisse aus Fragebogen 2

Der zweite Fragebogen ist nach dem Prinzip der „Free-Recall-Befragung“ aufgebaut. Es wird von allgemeinen Fragen (Ist Dir etwas am Test aufgefallen?) bis hin zur expliziten Frage (Ein Abschnitt der Trackingaufgabe war immer gleich. Ist Dir das aufgefallen?) versucht, das Wissen des Probanden über die Tracking- und Tonaufgabe zu erfassen. Nach Reber sollte im Free Recall explizites Wissen nur gering vorhanden sein. Dies kann bei der Auswertung der Fragebögen festgestellt werden. Auf die letzte explizite Frage antworten 27 Probanden mit nein. Zwei der drei übrigen Probanden können dann allerdings im Forced-Choice-Test nicht den richtigen Abschnitt benennen. Der Indikator durch den Free-Recall-Test kann also als implizites Wissen interpretiert werden. Auf die Frage: „Gab es eine Beziehung zwischen den Tönen und der Kurve?“, antworten die Probanden der

Gruppe mit randomisierter Doppelaufgabe erwartungsgemäß alle mit nein. Anders dagegen bei der Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe. Hier geben sechs Probanden den Zusammenhang explizit an. Den drei⁷⁹ anderen wird kein Zusammenhang bewußt. Die potentiellen Leistungsunterschiede zwischen diesen Gruppen sollen Thema der Zusatzfragestellung sein.

5.3 Inferenzstatistik

Um die in der deskriptiven Statistik beobachteten Unterschiede auf ihre Signifikanz zu überprüfen und von den kleinen Stichproben auf eine größere Population schließen zu können, werden im folgenden einerseits die Gruppenunterschiede einer Varianzanalyse mit Scheffé-Test und andererseits die Abschnittsunterschiede einer Varianzanalyse mit Meßwiederholung unterzogen. Anschließend werden die errechneten Werte einer Kovarianzanalyse unterzogen, um die Anfangsunterschiede in Block 1 zu nivellieren. Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen mit Doppelaufgabe bezüglich ihrer Tonzählleistung wird mit Hilfe eines T-Tests berechnet. Da die Reliabilität der Tonzählaufgabe eher gering ist, sollen diese Ergebnisse zwar dargestellt, aber nicht interpretiert werden.

5.3.1 Gruppenunterschiede

Zur Überprüfung der Hypothesenblöcke 1 & 3 werden zunächst Varianzanalysen über die einzelnen Abschnitte und über die komplette Funktion gerechnet, wobei zum Unterscheiden der Gruppen ein Post-Hoc-Scheffé-Test gerechnet wird. Da die beobachteten Signifikanzen durch die im deskriptiven Teil beschriebenen Anfangsunterschiede entstanden sein könnten, werden sie durch Kovarianzanalysen nivelliert. Tabelle 12 gibt hierzu einen Gesamtüberblick.

⁷⁹ Bei der zehnten Versuchsperson kommt es zu einer Diskussion der Aufgabe mit einer anderen Probandin, die den Zusammenhang explizit erkannt hat. Daher ziehe ich diese Versuchsperson aus dieser Auswertung.

Tab. 12: Varianz- und Kovarianzanalyse Trackingaufgabe für Gruppenunterschiede

	Varianz	Post - Hoc -Test (Scheffé)			Kovarianz (Block 1)
		E gegen R	R gegen S	S gegen E	
Block 1_ges	0,433	0,968	0,619	0,471	-
Block 1_1	0,462	0,947	0,677	0,486	-
Block 1_2	0,875	0,978	0,596	0,476	-
Block 1_3	0,428	0,974	0,603	0,472	-
Block 6_ges	0,105	1,000	0,177	0,179	0,242
Block 6_1	0,046**	0,971	0,075*	0,118	0,077*
Block 6_2	0,110	0,954	0,244	0,146	0,267
Block 6_3	0,229	0,999	0,317	0,337	0,487
Retention__ges	0,350	0,780	0,350	0,745	0,500
Retention_1	0,136	0,334	0,158	0,894	0,138
Retention_2	0,149	0,877	0,169	0,370	0,288
Retention_3	0,878	0,997	0,923	0,895	0,995
X-Transfer__ges	0,103	0,997	0,189	0,165	0,243
X-Transfer_1	0,232	0,947	0,270	0,426	0,409
X-Transfer_2	0,066*	0,985	0,147	0,107	0,163
X-Transfer_3	0,082*	0,870	0,249	0,100*	0,195

** signifikant mit $\alpha = .05$

* tendenziell mit $\alpha = .10$

Bei der Berechnung der Varianzanalysen können kaum Unterschiede zwischen der Lernleistung der unterschiedlichen Gruppen errechnet werden. Im sechsten Block der Aneignungsphase kann nur (fast) tendenziell ein Unterschied zwischen den Gruppen gezeigt werden. Dieser Unterschied ist aber nach der Nivellierung durch die Kovarianzanalyse nicht mehr nachweisbar.

Signifikante Unterschiede ($F(2,27)=3.469$; $p<.05$) sind im ersten Abschnitt des sechsten Blocks zu beobachten. Der Scheffé-Test zeigt, daß hierbei die Unterschiede ($p<.10$) tendenziell signifikant zwischen der Gruppe mit randomisierter Doppelaufgabe und der Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe sind. Dies ist ein Beleg für die Hypothese H1b, nach der die Lernleistungen der Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe signifikant besser sind als die der Gruppe mit randomisierter Doppelaufgabe. Ein fast tendenzieller Unterschied ist hier auch zwischen der Gruppe mit strukturierter Tonzählaufgabe und der Gruppe ohne Zweitaufgabe ($p=.118$) zu sehen, was für die Hypothese H1a spricht. Die

signifikanten Unterschiede der Varianzanalyse sind tendenziell auch nach der Nivellierung durch die Kovarianzanalyse zu beobachten. Die Hypothese H1c kann zwar nicht verifiziert werden, aber der Versuch der Falsifikation schlägt fehl, was aber nicht gleichbedeutend mit der Akzeptanz der Versifikation sein kann. Diese Unterschiede in der Lernleistung der unterschiedlichen Gruppen können auch (fast) tendenziell im zweiten Abschnitt des letzten Aneignungsblocks gesehen werden. Im dritten Abschnitt können allerdings keinerlei Unterschiede gesehen werden. Die beobachteten Befunde des ersten und des dritten Abschnitts belegen teilweise Hypothese H3b. Insbesondere im ersten Abschnitt des letzten Aneignungsblocks können Unterschiede zwischen der Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe und den beiden anderen Gruppen gezeigt werden. Hypothese H3a dagegen kann nur (fast) tendenziell belegt werden. Sie bedarf in jedem Fall weiterer empirischer Befunde.

Hypothese H3c, nach der die Leistungseinbußen im Transfertest bei der strukturierten Gruppe geringer sind als bei den beiden anderen Gruppen, kann über die Gesamtfunktion (fast) tendenziell ($F(2,27)=2.472$; $p=.103$) bestätigt werden. Tendenzielle Unterschiede können insbesondere im zweiten ($F(2,27)=3.004$; $p<.10$) und dritten Abschnitt ($F(2,27)=2.743$; $p<.10$) errechnet werden. Diese können im Scheffé-Test tendenzielle Unterschiede zwischen den beiden Gruppen mit Doppelaufgabe belegen.

Zusammenfassend kann man Trends erkennen, die für die Bestätigung der Hypothesenblocks 1 und 3 sprechen. Insbesondere die Unterschiede zwischen der Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe und den beiden jeweils anderen Gruppen können tendenziell belegt werden. Diese Befunde sind teilweise auch nach der Nivellierung durch die Kovarianzanalyse haltbar. Trotzdem müssen weitere Ergebnisse abgewartet werden, um diese Trends zu festigen.

5.3.2 Abschnittsunterschiede

Zur Überprüfung des zweiten Hypothesenblocks sollen nun die Unterschiede zwischen den einzelnen Abschnitten berechnet werden. Durch die in der deskriptiven Statistik und in den Schwierigkeitsindices gezeigten Unterschiede ist es unbedingt notwendig, die varianzanalytischen Berechnungen mit der Kovarianzanalyse zu überprüfen.

Tab. 13: Varianz- und Kovarianzanalyse Trackingaufgabe für Abschnittsunterschiede

Abschnittsunterschiede	Varianz	Kovarianz (Block 1)
Block 1	0,000**	-
Block 6	0,000**	0,769
Retentionsblock	0,000**	0,965
x-Transferblock	0,000**	0,062*

** signifikant mit $\alpha = .05$

* tendenziell mit $\alpha = .10$

Zu allen vier Beobachtungszeitpunkten können hoch signifikante Ergebnisse errechnet werden. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre das bessere Erlernen einzelner Abschnitte durch die Versuchspersonen. Dagegen spricht allerdings, daß bereits im ersten Block hoch signifikante Unterschiede zu sehen sind. Bei der Betrachtung der ersten Durchgänge, um die Möglichkeit des „One-Trial-Lernens“ zu überprüfen, können diese Unterschiede auch deskriptiv festgestellt werden. Ein zweiter Erklärungsansatz wären die unterschiedlichen Schwierigkeitsindices. Da hier allerdings der zweite und dritte Abschnitt etwa gleich schwer sind (vgl. Kap. 4.1.2), sollten hier solch signifikante Unterschiede nicht verursacht werden können. Diese Unterschiede nivellieren sich allerdings, wenn man die Kovarianzanalyse durchführt. Hier sind nur noch tendenzielle Unterschiede im Transfertest zu beobachten. Hypothese H2c kann also bestätigt werden. Der mittlere Abschnitt verschlechtert sich signifikant stärker gegenüber den beiden anderen Abschnitten. Hypothese H2a kann zwar auf deskriptiver Ebene und in der Varianzanalyse bekräftigt werden, aber die Kovarianzanalyse kann diese Trends nicht bestätigen. Bei Hypothese H2b verhält es sich etwa wie bei H1c. Der Versuch, die Hypothese zu falsifizieren, scheitert, dennoch kann die Hypothese als solche nicht verifiziert werden.

Betrachtet man die Ergebnisse, kann man von einer Bekräftigung des zweiten Hypothesenblocks sprechen. Insbesondere die Ergebnisse im Transfertest zeigen, daß implizit gelernt worden ist (vgl. Berry 1994). Es kann also unter Berücksichtigung der Ergebnisse der deskriptiven Statistik von einem impliziten Lernprozeß ausgegangen werden.

5.3.3 Tonunterschiede

Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen mit Doppelaufgaben bezüglich der Tonzählaufgabe sollen im folgenden noch aufgeführt werden, aber aufgrund der geringen Reliabilität nicht interpretiert werden.

Tab. 14: T-Test für Tonzählaufgabe: Prozent der richtig gezählten Töne

Tests	T-Test	Kovarianz (Block 1)
Block 1	0,161	-
Block 6	0,011**	0,029**
Retention	0,600	0,692
X-Transfer	0,325	0,338

** signifikant mit $\alpha = .05$

Es sind sowohl im T-Test als auch nach der Neutralisierung der Anfangsunterschiede in der Kovarianz im letzten Block der Aneignungsphase signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen zu sehen. Im Retentions- und im Transfertest sind dagegen keine signifikanten Unterschiede errechnet worden.

5.4 Zusatzfragestellung

Die Ergebnisse von Fragebogen 2 zeigen einen interessanten Unterschied innerhalb der Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe bezüglich der Bewußtheit der Strukturierung der Töne auf. Dieser Unterschied soll im folgenden deskriptiv betrachtet werden, um zu sehen, ob dadurch ein Unterschied zwischen den beiden Teilgruppen entsteht bzw. beobachtbar ist.

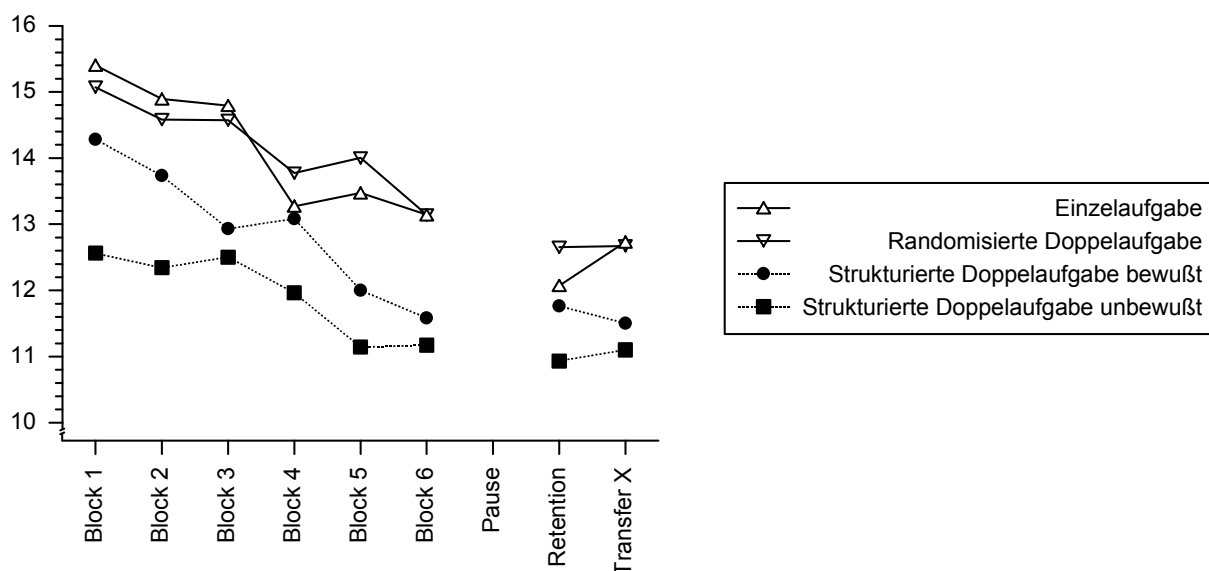


Abb. 31: Teilgruppendarstellung über alle Abschnitte (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)

Wie man in Abbildung 31 sehen kann, ist ein deutlicher Teilgruppenunterschied von Anfang an zu erkennen. Besonders interessant ist hierbei die deutlich schlechtere Anfangsleistung der bewußten Teilgruppe gegenüber der unbewußten Teilgruppe. Bei Block 6 ist allerdings kaum ein Unterschied mehr zu erkennen. Auffällig ist außerdem die

starke Leistungsver schlechterung der bewußten Teilgruppe nach der Pause zwischen Block 3 und 4 (Nacht) einerseits und nach der Pause zwischen Block 6 und Retentionstest andererseits. Diese sind so bei der unbewußten Teilgruppen nicht zu beobachten. Diese Beobachtung ist konsistent mit der Annahme der impliziten Lernforschung, daß implizit Gelerntes in einem bestimmten Maße resistent gegenüber Zeiteinflüssen ist. Dies beinhaltet jedoch die spekulative und nur durch die eine Frage innerhalb des Fragebogens 2 gestützte Vorannahme, daß man diese beiden Gruppen bezüglich ihrer Tonstrukturbewußtheit in eine implizite und eine explizite Gruppe unterscheiden kann. Um diese Spekulation weiterhin zu be- oder entkräftigen, ist es von besonderem Interesse, ob eine unterschiedliche Leistung pro Abschnitt zu sehen ist.

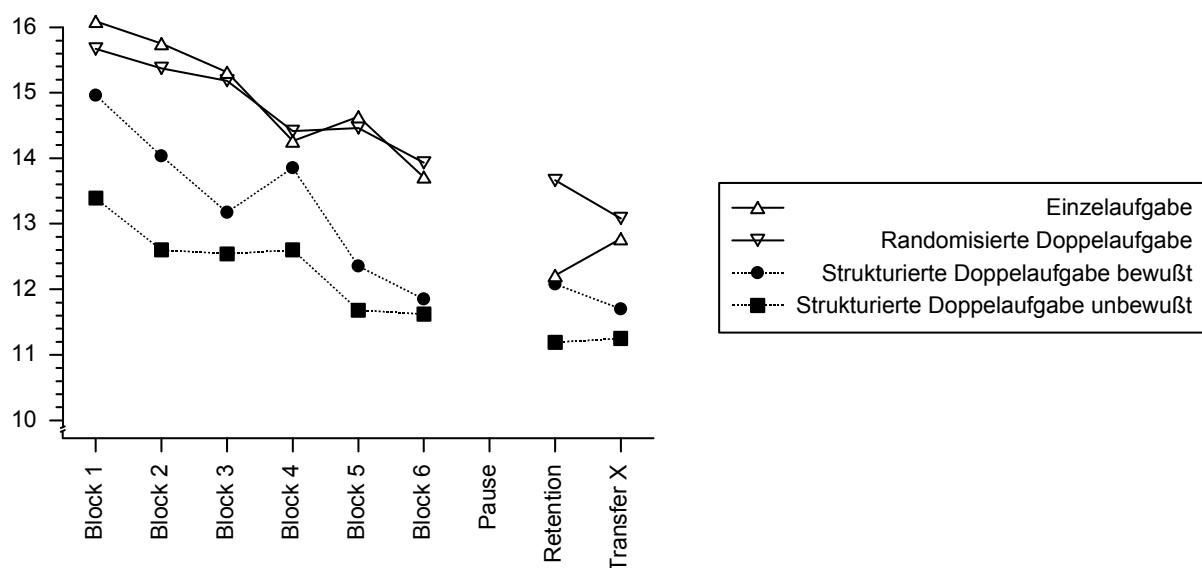


Abb. 32: Teilgruppendarstellung des Abschnitts 1 (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)

In Abschnitt 1 kann die Leistungsver schlechterung zwischen den beiden Tagen bei der bewußten Gruppe deutlich gesehen werden. Dies spricht dafür, daß man sich erst wieder ganz bewußt auf den Zusammenhang zwischen Ton und Extrema einstellen muß. Danach kommt es nämlich zu einer starken Leistungsverbesserung. Dieses Phänomen ist auch nach der Pause im Retentionstest zu beobachten.

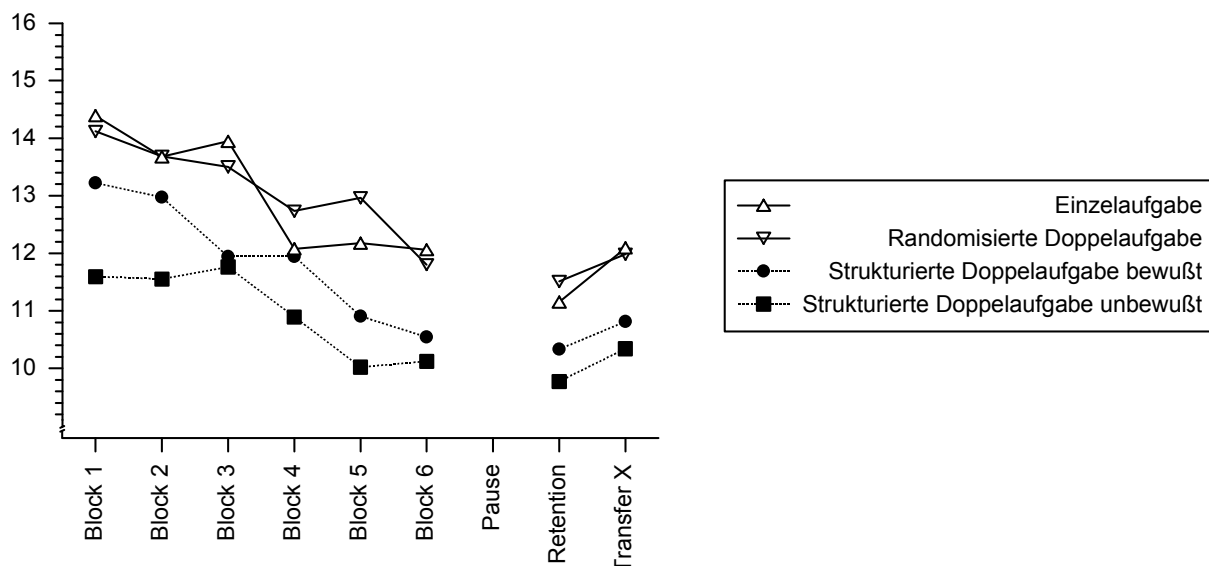


Abb. 33: Teilgruppendarstellung des Abschnitts 2 (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)

Im zweiten konstanten Abschnitt können die oben beobachteten Ergebnisse nicht wiedererkannt werden. Es scheint, daß das implizite Lernen der Invarianten den stärkeren Einfluß auf die Leistung hat als die Zusatzinformation durch die Töne. Dafür spricht auch die deutliche Verschlechterung im Transfertest.

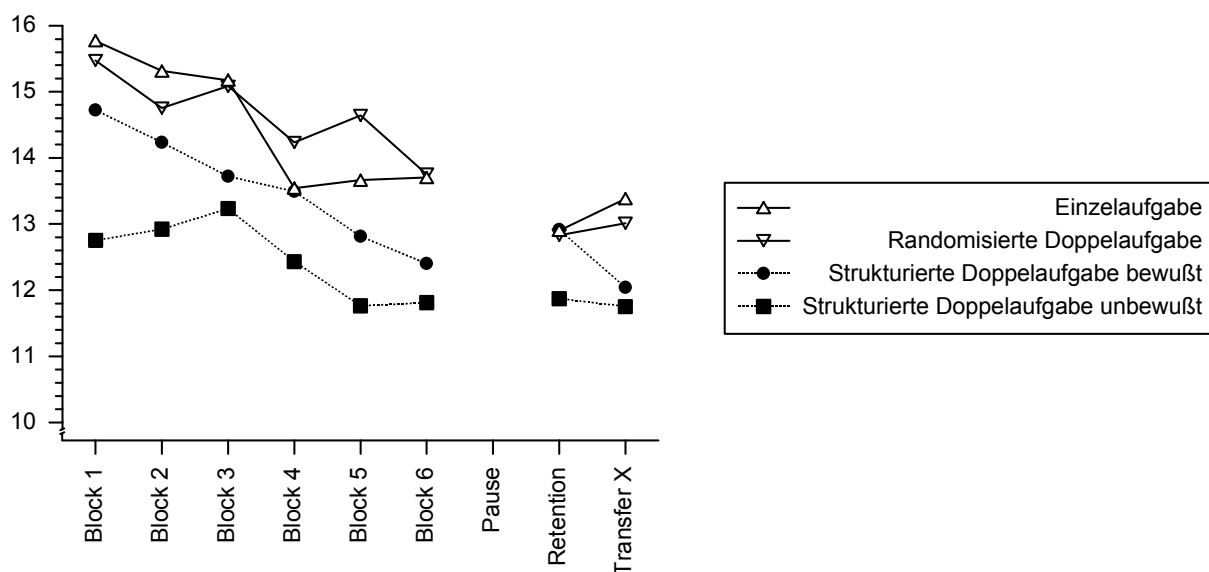


Abb. 34: Teilgruppendarstellung des Abschnitts 3 (y-Achse: RMS-Fehler in Pixeln)

In Abschnitt 3 kann eine Verschlechterung der Leistung am ersten Tag der unbewußten Gruppe beobachtet werden. Auffällig ist außerdem der Leistungseinbruch der bewußten Gruppe beim Retentionstest. Dieses Phänomen ist bereits bei Abschnitt 1 zu sehen gewesen. Zusammenfassend kann man also davon ausgehen, daß die bewußte Gruppe über alle Abschnitte schlechter ist und in den Abschnitten 1 & 3 eine „gewisse Anpassungszeit“ braucht, um den bewußten Wissensvorsprung nutzen zu können.

5.5 Interpretation der Ergebnisse

Die Berechnungen der Inferenzstatistik bestätigen tendenziell die Hypothesen:

- H1a: Die Leistung der Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe ist signifikant besser als die Leistung der Gruppe mit Einzelaufgabe.
- H1b: Die Leistung der Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe ist signifikant besser als die Leistung der Gruppe mit randomisierter Doppelaufgabe.
- H2a: Es kommt zu einer signifikant besseren Lernleistung im konstanten Mittelabschnitt als in den beiden äußeren Abschnitten.
- H3a: Die Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe lernt im Mittelteil signifikant besser als die beiden anderen Gruppen.
- H3b: Die Aneignung der beiden äußeren Abschnitte ist bei der Gruppe mit strukturierter Doppelaufgabe signifikant besser als bei den anderen beiden Gruppen.
- H3c: Die Leistungseinbußen beim Transfertest sind bei der strukturierten Gruppe signifikant geringer als bei den beiden anderen Gruppen.

Die tendenziell signifikanten Ergebnisse der Varianzanalysen können allerdings nicht in der Kovarianzanalyse bekräftigt werden. In der deskriptiven Statistik können aber teilweise konforme Ergebnisse beobachtet werden. Trotz der nicht signifikanten Unterschiede in der Kovarianzanalyse können die Ergebnisse als Beleg für den Faktor Strukturierung beim motorischen Lernen interpretiert werden. Dies soll jedoch durch weitere Untersuchungen ohne die bereits erwähnten methodischen Schwächen und stärkere Interferenzeffekte belegt werden. Nicht falsifiziert werden können die folgenden Hypothesen:

- H1c: Es gibt keine signifikanten Unterschiede in der Leistung zwischen der Gruppe mit randomisierter Doppelaufgabe und der Gruppe mit Einzelaufgabe.
- H2b: Die Behaltensleistung im mittleren Abschnitt verschlechtert sich nicht signifikant. Dies ist aber keineswegs als Verifizierung der Hypothesen zu verstehen. Es kann also keinerlei Interpretation vorgenommen werden. Einzig bei Hypothese H2c können signifikante Unterschiede sowohl bei der Varianzanalyse als auch in der Kovarianzanalyse festgestellt werden.
- H2c: Die Leistungen im mittleren Abschnitt des Transfertests verschlechtern sich signifikant stärker als in den beiden anderen Abschnitten.

Diese können zusammen mit den Ergebnissen des Fragebogens 2 nach Berry (1994) als starker Beleg für implizites Lernen gewertet werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen von Magill et al. und Wulf & Schmidt können hier repliziert werden.

6 Diskussion und Ausblick

Das Doppelaufgabenparadigma sollte im Sport nach Kuhn als *"... vielversprechender Forschungs- und Lösungsansatz zur Durchführung annähernd realistischer Testungen"* (Kuhn 1988, 24) genutzt werden, da es dem Mehrfachhandlungscharakter vieler Sportarten gerecht wird. Die Methode wird daher zum Testen von Automatisierung bei Bewegungen oder bei taktischen Entscheidungen unter Druck genutzt (vgl. Daus & Blischke 1993). Die dabei verwendeten Doppelaufgabenmodelle gehen auf Kapazitätsansätze (vgl. Kap. 1.1) zurück. Neuere Untersuchungen zeigen aber, daß die Zweitaufgabe auch zur Unterstützung von Lernprozessen genutzt werden kann. Effenberg & Mechling zeigen den *"... elementaren Zusammenhang zwischen Audition und Motorik"* (Effenberg & Mechling im Druck) auf und verweisen auf *"... ungenutzte Potenzen bewegungsdefinierter akustischer Zusatzinformationen"* (Effenberg & Mechling im Druck). Diese sind dann möglich, *"... wenn diese zumindest in ihrer zeitlich-dynamischen Struktur der zeitlich-dynamischen Koordinationsstruktur konvergent gestaltet werden"* (Effenberg & Mechling im Druck). Die Unterstützung des Lernprozesses durch die Struktur wird auch bei der vorliegenden Untersuchung gezeigt. Dies erscheint durch die bessere Strukturierung der zu beachtenden Invarianten möglich zu sein. Dies entspräche der Task-Integration-Hypothese (vgl. Schmidtke & Heuer 1997), bei der durch die Integrierung der beiden Aufgaben in eine Struktur eine bessere Leistung möglich ist. Sollten diese Befunde eine weitere Konfundierung finden, wäre das Doppelaufgabenparadigma in der Sportwissenschaft neu zu überdenken. Es könnte dann nicht nur zur Überprüfung von Automatisierung sondern auch zur Förderung von Lernprozessen genutzt werden.

Wenn es möglich ist, den Lernprozeß durch Strukturierung zu fördern, dann sollte es auch möglich sein, die aktuelle Leistung zu steigern. Die Hochspringer nutzen diesen Gedanken bereits seit mehreren Jahren bei Hochsprungmeetings mit Musik. Die dort durchschnittlich besseren Leistungen können einerseits durch die motivationalen Aspekte der Musik o.ä. erklärt werden; andererseits könnte es aber auch sein, daß durch den Rhythmus der Musik der Anlauf stabiler strukturierter gestaltet werden kann. Befunde für eine solche Annahme liefert die Untersuchung von Southard & Miracle (1993). Sie untersuchten

Basketballspieler der mittleren Leistungsstärke auf ihr Freiwurfverhalten. Sie konnten zeigen, daß „... *pre-performance rhythmicity is important to successful performance*“⁸⁰ (Southard & Miracle 1993, 289). Die Aufmerksamkeitslenkung beim Ausführen des Freiwurfes wäre dann nicht, wie bisher gedacht, der wichtigste Faktor, sondern die Beibehaltung des relativen Timings der Vorbereitung zur Ausführung. Die Struktur scheint also sowohl auf den Lernprozeß, als auch auf die Leistung einen gewissen Einfluß zu haben.

Mittelfristig soll die Rolle der Strukturierung in weiteren Experimenten näher untersucht werden. Im folgenden Experiment (vgl. Raab & Schorer (im Druck) bzw. Schorer & Raab (im Druck)) soll geprüft werden, in wie weit eine stärker interferierende Zweitaufgabe die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung stützt oder verwirft. Um stärkere Interferenzen zu erzeugen wird eine motorische Zweitaufgabe gewählt, in der die Probanden den Tönen entsprechend auf zwei Pedale treten müssen. Desweiteren werden zur bereits in dieser Arbeit dargestellten Testdurchführung noch ein zweiter Retentionstest ohne Zweitaufgabe und ein zweiter Transfertest (Spiegelung der Funktion an der y-Achse) integriert. Desweiteren wird eine Anfangsbaseline erhoben, so daß die Gruppen besser miteinander verglichen werden können. Um im Bereich des impliziten Lernens spezifischere Informationen zu bekommen, wird außerdem noch ein „Forced-Choice-Test“ integriert. Erhofft werden von dieser Untersuchung weitere Belege für die Task-Integration-Hypothese.

Langfristig kann mit diesem Paradigma in zwei verschiedenen Richtungen weiter geforscht werden. Zum einen kann das Forschungsgebiet der Interferenzen genauer untersucht werden. Zum anderen sind nähere Betrachtungen zum impliziten motorischen Lernen möglich, wie schon die Untersuchung von Wulf & Schmidt (1997) zeigt. Beide Forschungsrichtungen könnten für die Sportwissenschaft Früchte tragen, da diese grundlagenorientierte Forschung starke Konsequenzen für die Sportpraxis hätte. So könnte die Strukturierung zum Erlernen von neuen Bewegungen genutzt werden. Verschiedene konkrete Nutzungen wären bspw. beim Bob fahren möglich. Beim Erlernen des Steuerns eines Bobs könnten Töne über einen Kopfhörer einerseits den Zeitpunkt und andererseits die Richtung der nächsten Kurve antizipierbar machen. Dadurch könnten sich fortgeschrittene Bobfahrer an neue Strecken auch leichter „herantasten“. Bei Bobfahrern, wie den Olympiasiegern Hoppe oder Langen, könnte die mentale Vorbereitung unterstützt

⁸⁰ der Rhythmus vor der Bewegung für die erfolgreiche Ausführung wichtig ist.

werden. Wie die Untersuchung von Miracle & Southard (1993) zeigt, könnte dann die Struktur der zu befahrenen Strecke über akustische Reize gefestigt und damit das relative Timing manifestiert werden. So könnte die Strecke beim mentalen Durchfahren des Experten über die Töne für den Fahrer charakterisiert werden. Ob dies für den eigentlichen Wettkampf zur Folge hat, daß der Fahrer durch das Fehlen der akustischen Strukturierung eine schlechtere oder bessere Repräsentation hat, kann hier nur spekuliert werden.

Man kann an diesen ersten Überlegungen bereits die Praxisrelevanz der weiteren möglichen Forschungsrichtungen erkennen. Sie müßten erst grundlagenorientiert untersucht werden, bevor sie in den Sport transferiert werden können. Sollten die verschiedenen Tests der teilweise bereits geplanten Experimente die erhofften Resultate erzielen, wären anwendungsorientierte Untersuchungen auf der Grundlage dieser grundlagenorientierten Befunde denkbar. Das hier beschriebene Experiment kann also nur als erster Schritt gesehen werden, der zu weiteren Fragestellungen führt, die auf ihre Bearbeitung warten, denn „... *für die Erkenntnis gibt es keine endgültigen Ziele, sondern der Fortschritt der Erkenntnis ist nichts als eine Differenzierung der Fragestellungen*“ (Hesse, H. in Michels, V. 1995, 109).

7 Literatur

- Abernethy, B. (1988). Dual-task methodology and motor skills research: Some applications and methodological constraints. *Journal of Human Movement Studies*, 14, 101-132.
- Aschersleben, G. (1994). Afferente Informationen und die Synchronisation von Ereignissen. Lang: Frankfurt/Main.
- Aschersleben, G. & Prinz, W. (1995). Synchronizing actions with events: The role of sensory information. *Perception and Psychophysics*, 57, 305-317.
- Aschersleben, G. & Prinz, W. (1997). Delayed auditory feedback in synchronization. *Journal of Motor Behavior*, 29, 1, 35-46.
- Aschersleben, G., Hommel, B. & Prinz, W. (1997). Kognition und Handlung. Die Integration von sensorischem Feedback und motorischen Kontrollstrukturen. Online im Internet: URL: http://www.mpipf-muenchen.mpg.de/CA/PROJECTS/DFG_senso_motorik_g.html [Stand 2.10.1997].
- Baddeley, A. (1986). Working memory. Oxford University Press: Oxford, GB.
- Baddeley, A. (1993). Working memory or working attention? In Baddeley, A.D. & Weiskrantz, L. (Hrsg.) Attention: Selection, Awareness, and Control. (S.152-170) Clarendon Press: Oxford.
- Berry, D.C. (1993). Implicit learning: Reflections and prospects. In Baddeley, A.D. & Weiskrantz, L. (Hrsg.) Attention: Selection, Awareness, and Control. (S. 246-260) Clarendon Press: Oxford.
- Berry, D.C. (1994). Implicit learning: Twenty-five years on. A tutorial. In Umiltà, C. & Moscovitch, M. (Hrsg.) Attention and performance XV: Conscious and nonconscious information processing. (S. 755-782) Cambridge Press: Cambridge, MA, USA.
- Berry, D.C. & Broadbent, D.E. (1984). On the relationship between task performance and associated verbalisable knowledge. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36, 209-231.
- Berry, D.C. & Dienes, Z. (1991). The relationship between implicit memory and implicit learning. *British Journal of Psychology* 82, 359-373.
- Berry, D.C. & Broadbent, D.E. (1995). Implicit learning in the control of complex systems. In Frensch, P.A. & Funke, J. (Hrsg.) Complex problem solving. (S. 131-148) Lawrence: Hillsdale, NJ, USA.

- Birbaumer, N. & Schmidt, R.F. (1990). Biologische Psychologie. Springer-Verlag: Berlin.
- BISP (1997). Intentionale und inzidentelle Regelbildungsprozesse (Endbericht).
- Bös, K. (1986). Statistikkurs I. Verlag Ingrid Czwalina: Ahrensburg.
- Broadbent, D.E. (1952). Listening to one of two synchronous messages. *Journal of Experimental Psychology*, 44, 51-55.
- Brockhaus (1993). Brockhaus-Enzyklopädie. Brockhaus: Mannheim.
- Brookings, J.B. & Damos, L.D. (1991). Individual differences in multiple-task performance. In Damos, D. (Hrsg.) Multiple task performance. (S. 363-386) Taylor & Francis Ltd.: London, GB.
- Buchner, A. (1993). Implizites Lernen. Psychologie-Verlags-Union: Weinheim.
- Buchner, A. & Frensch, P.A. (1997). Sequence learning: Phenomena and models. *Psychological Research*, 60, 1-3.
- Cleeremans, A. (1997). Sequence learning in a dual-stimulus setting. *Psychological Research*, 60, 14-23.
- Cohen, A., Ivry, R.I. & Keele, S.W. (1990). Attention and structure in sequence learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 1, 17-30.
- Cohen, A., Wasserman, A. & Soroker, N. (1997). Learning spatial sequences in unilateral neglect. *Psychological Research*, 60, 42-52.
- Cohen, R.L. (1994). Some thoughts on individual differences and theory construction. *Intelligence* 18, 3-13.
- Cowan, N. (1995). Attention and memory. Oxford University Press: Oxford, GB.
- Curran, T. (1997). Effects of aging on implicit sequence learning: Accounting for sequence structure and explicit knowledge. *Psychological Research*, 60, 24-41.
- Curran, T. & Keele, S.W. (1993). Attentional and nonattentional forms of sequence learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 1, 189-202.
- Damos, D. L. (1991). Dual-task methodology: Some common problems. In Damos, D. (Hrsg.) Multiple task performance. (S. 101-119) Burgess Science Press: Basingstoke, GB.
- Damos, D. & Wickens, C.D. (1980). The identification and transfer of timesharing skills. *Acta psychologica*, 75, 15-39.
- Daug, R. & Blischke, K. (Hrsg.) (1993). Aufmerksamkeit und Automatisierung in der Sportmotorik. Academia Verlag: Sankt Augustin.

- Deutsch, J.A. & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, 70, 80-90.
- Detweiler, M. & Schneider, W. (1991). Modeling the acquisition of dual-task skill in a connectionist/control architecture. In Damos, D. (Hrsg.) Multiple task performance. (S. 69-99) Burgess Science Press: Basingstoke, GB.
- Dienez, Z. & Berry, D. (1997a). Implicit learning: Below the subjective threshold. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4, 1, 3-23.
- Dienez, Z. & Berry, D. (1997b). Implicit synthesis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4, 1, 68-72.
- Dubbik, V. (1995). Psychologisches Labortraining von Zeitprofilen. Unveröffentlichter Vortrag auf der ASP-Tagung in Erfurt.
- Eberspächer, H. (Hrsg.) (1987). Handlexikon Sportwissenschaft. Rowohlt Verlag: Reinbek.
- Effenberg, A.O. (1995). Sonification - Ein komplexes akustisches Informationskonzept für die Motorikforschung. In Krug, J. & Minow, H.J. (Hrsg.) Sportliche Leistung und Training. (S. 169-174) Academia Verlag: Sankt Augustin.
- Effenberg, A.O. & Mechling, H. (im Druck). Zur Funktion audiomotorischer Verhaltenskomponenten. *Sportwissenschaft*.
- Eimer, M. (1996). Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. In Roth, G. & Prinz, W. (Hrsg.) Kopf-Arbeit: Gehirnfunktionen und kognitive Leistungen. (S. 281-308) Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg.
- Eimer, M., Hommel, B. & Prinz, W. (1995). S-R compability and response selection. *Acta psychologica*, 90, 301-313.
- Eimer, M., Goschke, T., Schlaghecken, F. & Stürmer, B. (1996). Explicit and implicit learning of event sequences: Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 4, 970-987.
- Ellis, N. (1993). Rules and instances in foreign language learning: Interactions of explicit and implicit knowledge. *European Journal of Cognitive Psychology*, 5, 289-318.
- Engelkamp, J. & Wippich, W. (1995). Current issues in implicit and explicit memory. *Psychological Research* 57, 143-155.
- Feldman, A.G. (1986). Once more on the equilibrium-point hypothesis (λ model) for motor control. *Journal of Motor Behavior*, 18, 1, 17-54.

- Fendrich, D.W., Healy, A.F. & Bourne Jr., L.E. (1991). Long-term repetition effects for motoric and perceptual procedures. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17, 1, 137-151.
- Fracker, M.L. & Wickens, C.D. (1989). Resources, confusions, and compatibility in dual-axis tracking: Displays, controls, and dynamics. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 1, 80-96.
- Frensch, P.A. & Miner, C.S. (1994). Effects of presentation rate and individual differences in short-term memory capacity on an indirect measure of serial learning. *Memory & Cognition* 22, 1, 95-110.
- Frensch, P.A. & Miner, C.S. (1995). Zur Rolle des Arbeitsgedächtnisses beim impliziten Sequenzlernen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, XLII, 4, 545-575.
- Friedman, A. & Polson, M.C. (1981). Hemisphere as independent resource systems: Limited-capacity processing and cerebral specialization. *Journal of experimental psychology: Human Perception and Performance*, 7, 5, 1031-1058.
- Gentile, A.M. (1972). A working model of skill acquisition with application to teaching. *Quest*, XVII, 3-23.
- Green, T.D. & Flowers, J.H. (1991). Implicit versus explicit learning processes in a probabilistic, continuous fine-motor catching task. *Journal of Motor Behavior*, 23, 4, 293-300.
- Goschke, T. (1996). Lernen und Gedächtnis: Mentale Prozesse und Gehirnstrukturen. In Roth, G. & Prinz, W. (Hrsg.) *Kopf-Arbeit: Gehirnfunktionen und kognitive Leistungen*. (S. 359-410) Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg.
- Hah, S. & Jagacinski, R.J. (1994). The relative dominance of schemata in a manual tracking task: Input patterns, system dynamics, and movement patterns. *Journal of Motor Behavior* 26, 3, 204-214.
- Hall, K., Palen, C.A. & Wirth, C. (1993). Implicit vs. explicit knowledge in skilled surfers. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, S38.
- Hall, K. & Magill, R.A. (1995). Variability of practice and contextual interference in motor skill learning. *Journal of Motor Behavior* 27, 4, 299-309.
- Hammerton, M. (1981). Tracking. In Holding, D. (Hrsg.) *Human Skills*. (S. 177-202) J. Wiley & Sons Ltd.: New York, USA.
- Hesse, H. (1995). Wissen und Bewußtsein. In Michels, V. (Hrsg.) *Lektüre für Minuten*. Suhrkamp Verlag: Frankfurt/Main.

- Heuer, H. (1988). The laboratory and the world outside. In Meijer, O.G. & Roth, K. (Hrsg.) *Complex movement behaviour: The motor-action controversy*. (S. 405-417) Elsevier Science Publishers: B.V.: Holland.
- Heuer, H. (1991). Motor constraints in dual-task performance. In Damos, D. (Hrsg.) *Multiple task performance*. (S. 173-204) Burgess Science Press: Basingstoke, GB.
- Heuer, H. (1994). Koordination. In Heuer, H. & Keele, S.W. *Enzyklopädie der Psychologie. Kognition. Bd. 3. Psychomotorik*. (S. 147-222) Hogrefe Verlag: Göttingen.
- Heuer, H. (1995). Models for response-response compatibility: The effects of the relation between responses in a choice task. *Acta Psychologica*, 90, 315-332.
- Heuer, H. (1996). Doppeltätigkeit. In Sanders, A.F. & Neumann, O. (Hrsg.) *Aufmerksamkeit. Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C, Serie 2* (S. 163-218). Hogrefe-Verlag: Göttingen.
- Heuer, H. & Wing, A.M. (1984). Doing two things at once: Process limitations and interactions. In Smyth, M.M. & Wing, A.M. (Hrsg.) *The psychology of human movement*. (S. 183-213) Academic Press Inc.: London, GB.
- Heuer, H. & Schmidtke, V. (1996). Secondary-task effects on sequence learning. *Psychological Research* 59, 119-133.
- Hirst, W. & Kalmar, D. (1987). Characterizing attentional resources. *Journal of Experimental Psychology: General*, 116, 1, 68-81.
- Hoffmann, J. (1991). Ist implizites Lernen aufmerksamkeitsabhängig? Vortrag auf der 33. Tagung experimentell arbeitender Psychologen in Gießen.
- Hoffmann, J. (1993). Vorhersage und Erkenntnis. Hogrefe Verlag für Psychologie: Berlin.
- Hoffmann, J. (1994). Unbewußtes Lernen - eine besondere Lernform? *Psychologische Rundschau*, 44, 75-79.
- Hoffmann, J. & Koch, I. (1997). Stimulus-response compatibility and sequence learning in the serial reaction time task. *Psychological Research*, 60, 87-97.
- Ivry, R. (1994). Repräsentation beim motorischen Lernen: Phänomene und Theorien. In Heuer, H. & Keele, S.W. *Psychomotorik. Enzyklopädie der Psychologie Thema C Serie II, Bd. 3*. (S. 321-410) Hogrefe: Göttingen.
- Jiménez, L., Méndez, C. & Cleeremans, A. (1996). Comparing direct and indirect measures of sequence learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 4, 948-969.

- Kahnemann, D. (1973). Attention and effort. Prentice-Hall Inc.: Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Keele, S.W. (1986). Motor control. In Boff, K., Kaufmann, L. & Thomas, J.P. (Hrsg.) Handbook of perception and human performance. J. Wiley & Sons, Inc.: New York, USA.
- Keele, S.W. & Jennings, P.J. (1992). Attention in the representation of sequence: Experiment and theory. *Human Movement Science*, 11, 125-138.
- Kelso, J.A.S. (1984). Phase transitions and critical behavior in human bimanual coordination. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative, and Comparative*, 246, R1000-R1004.
- Kelso, J.A.S., Southard, D.L. & Goodman, D. (1979). On the coordination of two-handed movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 5, 229-238.
- Kinsbourne, M. & Hicks, R.E. (1978). Functional cerebral space: A model for overflow, transfer and interference effects in human performance: A tutorial review. In Requin, J. (Hrsg.) Attention and performance VII. (S. 345-362) Lawrence Erlbaum Associates, Inc: Hillsdale, NJ, USA.
- Kuhn, W. (1988). Zur Leistungsdiagnostik in Sportarten mit Mehrfachhandlungscharakter. *Sportpsychologie* 4, 24-27.
- Kuhn, W. (1991). Einsatz des Doppelaufgaben-Paradigmas in der Sportspielforschung. *Sportwissenschaft* 4, 399-412.
- Lee, T.D. & Magill, R.A. (1985). On the nature of movement representation in memory. *British Journal of Psychology* 76, 175-182.
- Lienert, G.A. & Raatz, U. (1994)⁵. Testaufbau und Testkonstruktion. Beltz Psychologie Verlagsunion: Weinheim.
- Lintern, G. & Wickens, C.D. (1991). Issues for acquisition and transfer of timesharing and dual-task skills. In Damos, D. (Hrsg.) Multiple task performance. (S. 123-138) Taylor & Francis Ltd.: London, GB.
- Magill, R.A. (1988). Activity during the post-knowledge of results interval can benefit motor skill learning. In Meijer, O.G. & Roth, K. (Hrsg.) Complex movement behaviour: The motor-action controversy. (S. 231-246) Elsevier Science Publishers: B.V.: Holland
- Magill, R.A. (1989). Investigating the role of cognition in motor skill learning. In Eberspächer, H. & Hackfort, D. (Hrsg.) Entwicklungsfelder der Sportpsychologie:

- Bericht über die Tagung und das 4. Internationale Symposium der ASP in Heidelberg. (S. 234-239) Bps-Verlag: Köln.
- Magill, R.A. (1991). Is conscious awareness of enviromental information necessary for skill learning? Vortrag auf dem 7. Europäischen Kongress der Sportpsychologen in Köln.
- Magill, R.A. (1993)⁴. Motor learning. Brown & Benchmark: Madison, WI, USA.
- Magill, R.A. (1994). Is conscious awareness of enviromental information necessary for skill learning? In Nitsch, J.R. & Seiler, R. (Hrsg.) Bewegungsregulation und motorisches Lernen. Bericht über den VII. Europäischen Kongreß für Sportpsychologie. (S. 94-103) Academia Verlag: Sankt Augustin.
- Magill, R.A. & Hall, K.G. (1989). Implicit learning in a complex tracking task. Vortrag auf der Jahresversammlung der NASPSPA: Asilomar, CA, USA.
- Magill, R.A., Schoenfelder-Zhodi, B. & Hall, K.G. (1990). Further evidence for implicit learning in a complex tracking task. Vortrag auf der Jahresversammlung der NASPSPA: New Orleans, LA, USA.
- Magill, R.A., Sekiya, H. & Clark, R. (1995). Amplitude effects on implicit learning in pursuit tracking. Vortrag auf der Jahresversammlung der NASPSPA: Asilomar, CA, USA.
- Magill, R.A. & Clark, R. (1997). Implicit versus explicit learning of pursuit tracking patterns. Vortrag auf der Jahresversammlung der NASPSPA: Denver, CO., USA.
- Manzey, D. (1988). Determinanten der Aufgabeninterferenz bei Doppeltätigkeiten und ressourcentheoretische Modellvorstellungen in der kognitiven Psychologie. (Unveröffentlichte Dissertation). Kiel.
- Manzey, D. (1993). Doppelaufgabeninterferenz: Neue theoretische und methodische Perspektiven für ein altes Paradigma. In Daus, R. & Blischke, K. (Hrsg.). Aufmerksamkeit und Automatisierung in der Sportmotorik. (S. 79-96) Academia Verlag: St. Augustin.
- Marteniuk, R.G. (1986). Information processes in movement learning: Capacity and structural interference effects. *Journal of Motor Behavior* 18, 1, 55-75.
- Mathews, R.C., et al. (1989). Role of implicit and explicit processes in learning from examples: A synergistic effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, amd Cognition*, 15, 6, 1083-1100.

- Masters, R.S.W. (1992). Knowledge, nerves and know-how: The role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure. *British Journal of Psychology*, 83, 343-358.
- Mathews, R.C. (1997) Is research painting a biased picture of implicit learning? The dangers of methodological purity in scientific debate. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4, 1, 38-42.
- Mathews, R.C. & Cochran, B.P. (im Druck). Project Gammarama revisited. In Stadler, M. & Frensch, P. Implicit learning handbook.
- Mayr, U. (1996). Spatial attention and implicit sequence learning: Evidence for independent learning of spatial and nonspatial sequences. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 2, 350-364.
- McLeod, P. (1977). A dual task response modality effect: Support for multiprocessor models of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 29, 651-667.
- Meinel, K. & Schnabel, G. (1987)⁸. Bewegungslehre - Sportmotorik. Volkseigener Verlag: Berlin.
- Moray, N. (1967). Where is capacity limited? A survey and a model. *Acta psychologica*, 27, 84-92.
- Müller, H. (1997). Kognition und motorisches Lernen. *psychologie und sport* 3, 74-91.
- Müsseler, J. (1995). Wahrnehmung und Handlungssteuerung. Effekte kompatibler und inkompatibler Reize bei der Initiierung und Ausführung von Reaktionssequenzen. Shaker: Aachen.
- Müsseler, J., Aschersleben, G. & Prinz, W. (1996). Die Steuerung von Handlungen. In Roth, G. & Prinz, W. (Hrsg.) Kopf-Arbeit: Gehirnfunktionen und kognitive Leistungen. (S. 309-358) Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg.
- Müsseler, J. & Hommel, B. (1997). Blindness to response compatible stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23.
- Munzert, J. (1989). Der Erwerb von flexiblen Bewegungsmustern bei der sensomotorischen Regulation. In Eberspächer, H. & Hackfort, D. (Hrsg.) Entwicklungsfelder der Sportpsychologie: Bericht über die Tagung und das 4. Internationale Symposium der ASP in Heidelberg. (S. 127-132) Bps-Verlag: Köln.
- Munzert, J. & Möllmann, H. (1997). Zeitliche Dauer mental simulierter Bewegungshandlungen im Badminton. *psychologie und sport* 3, 102-113.
- Nattkemper, D. & Prinz, W. (1997). Stimulus and response anticipation in a serial reaction task. *Psychological Research*, 60, 98-112.

- Navon, D. (1985). Attention division or attention sharing? In Posner, M.I. & Marin, O.M. (Hrsg.) *Attention and performance XI*. (S. 133-146) Lawrence Erlbaum Associates, Inc: Hillsdale, NJ, USA.
- Navon, D. (1990). Does attention serve to integrate features? *Psychological review*, 97, 3, 453-459.
- Navon, D. & Gopher, D. (1979). On the economy of the human-processing system. *Psychological Review*, 86, 3, 214-255.
- Navon, D. & Gopher, D. (1980). Task difficulty, resources, and dual-task performance. In 8th International Symposium on Attention and Performance. (S. 297-315) Lawrence Erlbaum Associates, Inc: Hillsdale, NJ, USA.
- Neal, A. & Hesketh, B. (1997a). Episodic knowledge and implicit learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4, 1, 24-37.
- Neal, A. & Hesketh, B. (1997b). Future directions for implicit learning: Toward a clarification of issues associated with knowledge representation and consciousness. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4, 1, 73-78.
- Neumann, O. (1992). Theorien der Aufmerksamkeit: Von Metaphern zu Mechanismen. *Psychologische Rundschau* 43, 83-101.
- Neumann, O. (1996). Theorien der Aufmerksamkeit. In Sanders, A.F. & Neumann, O. (Hrsg.) *Aufmerksamkeit. Themenbereich C, Serie 2* (S. 559-644). Hogrefe-Verlag: Göttingen.
- Nissen, M.J. & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cognitive Psychology*, 19, 1-32.
- Pavlov, I.P. (1953). *Gesammelte Werke, Band 3*. Akademie-Verlag: Berlin.
- Perrig, W.J. (1996). Implizites Lernen. In Hoffmann, J. & Kintsch, K. (Hrsg.) *Lernen. Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C, Serie 2, Kognition*. (S. 203-234) Hogrefe Verlag: Göttingen.
- Perruchet, P., Bigand, E. & Benoit-Gonim, F. (1997). The emergence of explicit knowledge during the early phase of learning in sequential reaction time tasks. *Psychological Research*, 60, 4-13.
- Perruchet, P., Vinter, A. & Gallego, J. (1997). Implicit learning shapes new conscious percepts and representations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4, 1, 43-48.
- Pew, R.W. (1974). Levels of analysis in motor control. *Brain Research* 71, 393-400.
- Poulton, E.C. (1974). *Tracking skill and manual control*. Academic Press: New York, USA.

- Prinz, W. (1992). Why don't we perceive our brain states? *European Journal of Cognitive Psychology*, 4, 1, 1-20.
- Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9, 2, 129-154.
- Prinz, W. & Wulf, G. (1997). Kognition und Handlung. Optimierung sportmotorischer Lernprozesse. Online im Internet: URL: http://www.mpipf-muenchen.mpg.de/CA/PROJECTS/DFG_sport_g.html [Stand 2.10.97].
- Raab, M. (1994). Antizipationstraining im Volleyball. Unveröffentlichte Examensarbeit.
- Raab, M. & Schorer, J.R. (im Druck). Leichter (implizit) Lernen durch Strukturierung?
- Reber, A.S. (1989). Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 3, 219-235.
- Reber, A.S. (1993). Implicit learning and tacit knowledge. Oxford University Press: Oxford, GB.
- Reber, A.S. (1997). Implicit ruminations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4, 1, 49-55.
- Reber, A.S. & Millward, R. (1968). Event observation in probability learning. *Journal of Experimental Psychology*, 77, 317-327.
- Reber, P.J. & Kotovsky, K. (1997). Implicit learning in problem solving: The role of working memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 126, 2, 178-203.
- Reed, J. & Johnson, P. (1994). Assessing implicit learning with indirect tests: Determining what is learned about sequence structure. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 3, 585-594.
- Reingold, E.M. & Merikle, P.M. (1988). Using direct and indirect measures to study perception without awareness. *Perception & Psychophysics* 44, 6, 563-575.
- Rogge, K.-E. (Hrsg.) (1995). Methodenatlas. Springer Verlag: Berlin.
- Rosenbaum, D.A. (1980). Human movement initiation: Specification of aim, direction, and extent. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 444-474.
- Roth, K. (1988). Investigations on the basis of the generalized motor program hypothesis. In Meijer, O.G. & Roth, K. (Hrsg.) Complex movement behaviour: The motor-action controversy. (S. 261-288) Elsevier Science Publishers: B.V.: Holland.
- Roth, K. (1989). Lektion 2: Wie lernt man schwierige geschlossene Fertigkeiten? In Bielefelder Sportpädagogen: Methoden im Sportunterricht. (S. 25-42) Schorndorf: Hofmann.
- Roth, K. (1990a). Motorisches Lernen und Übungsvariabilität. *Sportpsychologie* 4, 27-30.

- Roth, K. (1990b). Ein neues „ABC“ für das Techniktraining im Sport. *Sportwissenschaft* 20, 1, 9-20.
- Roth, K. (1991). „Erst das Leichte, dann das Schwere - stufenweise richtig lehren!“. *Sportpsychologie* 1, 5-10.
- Roth, K. & Meijer, O.G. (Ed.) (1988). General discussion. In Meijer, O.G. & Roth, K. (Hrsg.) Complex movement behaviour: The motor-action controversy. (S. 121-155) Elsevier Science Publishers: B.V.: Holland.
- Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review* 82, 4, 225-259.
- Schmidt, R.A. (1988a)². Motor control and learning. Human kinetics publishers, Inc.: Champaign, IL, USA.
- Schmidt, R.A. (1988b). Motor and action perspectives on motor behavior. In Meijer, O.G. & Roth, K. (Hrsg.) Complex movement behavior: The motor-action controversy. (S. 3-44) Elsevier Science Publishers: B.V.: Holland.
- Schmidtke, V. & Heuer, H. (1997). Task integration as a factor in a secondary-task effects on sequence learning. *Psychological Research*, 60, 53-71.
- Schorer, J.R. & Raab, M. (im Druck). Das Tracking-Paradigma in der motorischen impliziten Lernforschung.
- Seger, C.A. (1994). Implicit learning. *Psychological Bulletin*, 115, 2, 163-196.
- Shaffer, L.H. (1975). Multiple attention in continuous verbal tasks. In Rabbitt, P.M.A. & Dornic, S. (Hrsg.) Attention and performance V. (S. 157-167) Academic Press: London, GB.
- Shaffer, L.H. (1982). Rhythm and timing in skill. *Psychological Review* 89, 2, 109-122.
- Shaffer, L.H. (1993). Motor programs and musical performance. In Baddeley, A.D. & Weiskrantz, L. (Hrsg.) Attention: Selection, Awareness, and Control. (S. 135-151) Clarendon Press: Oxford.
- Simon, J.R. & Rudell, A.P. (1967). Auditory S-R compability: The effect of an irrelevant cue on information processing. *Journal of Applied Psychology* 51, 3, 300-304.
- Singer, R.N. (1985). Motorisches Lernen und menschliche Leistung. Limpert Verlag: Bad Homburg.
- Southard, D. & Miracle, A. (1993). Rhythmicity, ritual, and motor performance: A study of free throw shooting in basketball. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 64, 3, 284-290.

- Stadler, M.A. (1989). On learning complex procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 6, 1061-1069.
- Stadler, M.A. (1992). Statistical structure and implicit serial learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 2, 318-327.
- Stadler, M.A. (1995). Role of attention on implicit learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 3, 674-685.
- Stadler, M.A. (1997). Distinguishing implicit and explicit learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4, 1, 56-62.
- Stadler, M.A. & Neely, C.B. (1997). Effects of sequence length and structure on implicit learning. *Psychological Research*, 60, 14-23.
- Tyldesley, D.A. & Whiting, H.T.A. (1975). Operational timing. *Journal of Human Movement Studies* 1, 172-177.
- Underwood, G. & Everett, J. (1996). Automatische und gesteuerte Informationsverarbeitung: Die Rolle der Aufmerksamkeit bei der Verarbeitung des Neuen. In Sanders, A.F. & Neumann, O. (Hrsg.) *Aufmerksamkeit. Enzyklopädie der Psychologie*. (S. 267-332) Hogrefe: Göttingen.
- Weinert, S. (1991). *Spracherwerb und implizites Lernen*. Huber: Bern.
- Whittlesea, B.W.A. & Dorken, M.D. (1997). Implicit learning: Indirect, not conscious. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4, 1, 63-67.
- Whittlesea, B.W.A. & Wright, R.L. (1997). Implicit (and explicit) learning: acting adaptively without knowing the consequences. *Journal of experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23, 1, 181-200.
- Wickens, C.D. (1980). The structure of attentional resources. In Nickerson, R. (Hrsg.) *Attention and performance VII*. (S. 239-257). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.: Hillsdale, NJ, USA.
- Wickens, C.D. (1984). *Engineering psychology und human performance*. C.E. Merrill: Columbus, USA.
- Wickens, C.D. (1989)². Attention and skilled performance. In Holding, D.H. (Hrsg.) *Human skills*. (S. 134-154) John Wiley & Sons Ltd.: New York, USA.
- Wickens, C.D. (1991). Processing resources and attention. In Damos, D. (Hrsg.) *Multiple task performance*. (S. 3-34) Burgess Science Press: Basingstoke, GB.
- Wiemeyer, J. (1992a). Motorische Kontrolle und motorisches Lernen im Sport (Teil 1). *Sportpsychologie* 1, 5-11.

- Wiemeyer, J. (1992b). Motorische Kontrolle und motorisches Lernen im Sport (Teil 2). *Sportpsychologie* 2, 5-12.
- Willimczik, K. & Roth, K. (1983). Bewegungslehre. Rowohlt Taschenbuch Verlag: Reinbek.
- Willingham, D.B., Nissen, M.J. & Bullemer, P. (1989). On the development of procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 6, 1047-1060.
- Willingham, D.B. & Dumas, J.A. (1997). Long-term retention of a motor skill: Implicit sequence knowledge is not retained after a one-year delay. *Psychological Research*, 60, 113-119.
- Wippich, W., Mecklenbräuer, S. & Reding, P. (1993). Gedächtnis und Bewußtsein Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen expliziten und impliziten Behaltensprüfungen. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, XL, 3, 487-508.
- Wippich, W., Mecklenbräuer, S & Baumann, R. (1994). Farbwirkungen bei impliziten und expliziten Gedächtnisprüfungen. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, XLI, 2, 315-347.
- Wittikowski, E. (1987). Zum Einfluß von „Überlernen“ auf die Behaltensstabilität des kinästhetischen Gedächtnisses. Berlin.
- Wollny, R. (1988). Zur Struktur motorischer Programmierungsprozesse im Basketballspiel. In Daus, R. (Red.) Neuere Aspekte der Motorikforschung. (S. 205-217) Clausthal-Zellerfeld.
- Wrisberg, C.A. & Wulf, G. (1997). Diminishing the effects of reduced frequency of knowledge of results on generalized motor program learning. *Journal of Motor Behavior*, 29, 1, 17-26.
- Wulf, G. (1989). Schema theory and mass-spring control of movements: An attempt at integration. *Sportwissenschaft* 19, 204-215.
- Wulf, G. (1993). Implizites Lernen von Regelhaftigkeiten. *Sportpsychologie* 4, 11-18.
- Wulf, G. & Schmidt, R.A. (1988). Variability in practice: Facilitation in retention and transfer through schema formation or context effects? *Journal of Motor Behavior*, 20, 2, 133-149.
- Wulf, G. & Schmidt, R.A. (1995). Implizites Lernen motorischer Fertigkeiten. In Krug, J. & Minow, H.J. (Hrsg.) Sportliche Leistung und Training. (S. 165-168) Academia Verlag: Sankt Augustin.

- Wulf, G. & Schmidt, R.A. (1997). Variability of practice and implicit motor learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 23, 4, 987-1006.
- Zießler, M., Hänel, K. & Hoffmann, J. (1988). Die Programmierung struktureller Eigenschaften von Bewegungsfolgen. *Zeitschrift Psychologie* 196, 371-388.
- Zimmer, H.D. (1987). Argumente für ein motorisches Gedächtnissystem. In Engelkamp, J., Lorenz, K. & Sendag, B. (Hrsg.) Wissensrepräsentation und Wissensaustausch. (S. 49-72) Röhrig: Sankt Ingberg.
- Zimmer, H.D. & Engelkamp, J. (1985). An attempt to distinguish between kinematic and motor memory components. *Acta Psychologica* 58, 81-106.

8 Anhang

8.1 Instruktion

Testinstruktion

Hallo.

Ich freue mich, daß Du an meiner Untersuchung zum motorischen Lernen teilnimmst. Es handelt sich hierbei um ein Doppelaufgabenexperiment. Einerseits führst Du eine Tonzählaufgabe durch und andererseits ein Trackingexperiment.

Trackingexperiment (Folgeaufgabe):

Du sitzt vor einem schwarzen Bildschirm, auf dem ein rotes Kreuz und ein weißes Kreuz zu sehen ist. Deine Aufgabe ist es, dem roten Zielkreuz mit dem weißen Kreuz möglichst exakt zu folgen. Du bewegst das weiße Kreuz mit der Maus. Nach jedem Durchgang bekommst Du eine Fehlerrückmeldung. Je geringer der Wert ist, desto besser war Dein Versuch. Wenn Du für einen neuen Durchgang bereit bist, führe das weiße Kreuz auf das rote Zielkreuz und klicke mit der linken Maustaste, die Ergebnisanzeige verschwindet dann automatisch. Pro Tag machst Du 120 Durchgänge. Am Ende der beiden Tage habe ich dann noch je ein Fragebogen und am Ende des zweiten Tages noch ein paar weitere Durchgänge (ca. 20).

Tonzählaufgabe:

Du hörst zwei verschiedene Töne: Einen tiefen, dumpfen und einen hohen Ton. Bitte zähle **nur** die **hohen** Töne. Die tiefen Töne ignoriere. Am Ende eines Durchgangs (bei Trackingaufgabe) erscheint ein weißes Fenster, in das Du bitte auf der Tastatur Deine gezählte Anzahl eingibst.

Wenn du noch Fragen hast, wende Dich bitte an den Testleiter.

😊😊😊 **Vielen Dank für's Mitmachen!** 😊😊😊

8.2 Fragebogen 1

- 1) Du bist geboren am:/...../.....
- 2) Du bist: ☐ Linkshänder/-in ☐ Rechtshänder/-in
- 3) Du bist: ☐ weiblich ☐ männlich
- 4) Du trägst Brille: ☐ ja ☐ nein
- 5) Du hast Hörprobleme: ☐ ja ☐ nein
- 6) Du spielst durchschnittlich am Computer mit dem Joystick: seit:
- | | |
|--|---|
| <input type="radio"/> täglich | <input type="radio"/> 0-1 Jahren |
| <input type="radio"/> 4-5 mal in der Woche | <input type="radio"/> 2-3 Jahren |
| <input type="radio"/> 2-3 mal in der Woche | <input type="radio"/> 4-5 Jahren |
| <input type="radio"/> 0-1 mal in der Woche | <input type="radio"/> 6 und mehr Jahren |
| <input type="radio"/> fast nie | |
- 7) Du benutzt durchschnittlich deine Computermouse: seit:
- | | |
|--|---|
| <input type="radio"/> täglich | <input type="radio"/> 0-1 Jahren |
| <input type="radio"/> 4-5 mal in der Woche | <input type="radio"/> 2-3 Jahren |
| <input type="radio"/> 2-3 mal in der Woche | <input type="radio"/> 4-5 Jahren |
| <input type="radio"/> 0-1 mal in der Woche | <input type="radio"/> 6 und mehr Jahren |
| <input type="radio"/> fast nie | |
- 8) Du hast zu Hause einen eigenen Rechner/PC: ☐ ja ☐ nein
- 9) Du machst _____ zwei Dinge gleichzeitig:
- | | | |
|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| <input type="radio"/> selten | <input type="radio"/> manchmal | <input type="radio"/> häufig |
|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
- 10) Du hörst _____ Musik beim Lernen:
- | | | |
|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| <input type="radio"/> selten | <input type="radio"/> manchmal | <input type="radio"/> häufig |
|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
- 11) Du spielst ein Musikinstrument: ☐ nein ☐ ja, _____ (Instrument)
- 12) Du lernst im Sport neue Bewegungen
- | | | | | |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| <input type="radio"/> sehr schnell | <input type="radio"/> schnell | <input type="radio"/> mittel | <input type="radio"/> langsam | <input type="radio"/> sehr langsam |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
- 13) Deine Motivation bei diesem Test ist:
- | | | | | |
|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| <input type="radio"/> sehr hoch | <input type="radio"/> hoch | <input type="radio"/> mittel | <input type="radio"/> niedrig | <input type="radio"/> sehr niedrig |
|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
- 14) Glaubst Du, daß die Instruktion Dir das tatsächliche Thema des Tests erklärt hat?
- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| <input type="radio"/> ja | <input type="radio"/> nein |
|--------------------------|----------------------------|
- 15) Du hast die Instruktion _____ verstanden
- | | | | | |
|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| <input type="radio"/> voll | <input type="radio"/> das meiste | <input type="radio"/> teilweise | <input type="radio"/> kaum | <input type="radio"/> nicht |
|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
- 16) Haben Dich die Töne eher
- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| <input type="radio"/> gestört ? | <input type="radio"/> unterstützt? |
|---------------------------------|------------------------------------|
- 17) Du hast Deine Aufmerksamkeit zu _____ % auf den Verfolgungstest
und zu _____ % auf das Tonzählen gelenkt.

8.3 Fragebogen 2

1) Ist Dir am Test irgend etwas aufgefallen?

2) Hast Du „Tricks bzw. Hilfen“ genutzt, um den Test besser zu bestehen?

3) Konntest Du „Regeln“ erkennen?

4) Ist Dir an der Kurve etwas aufgefallen?

5) Gab es irgendwelche Abschnitte innerhalb der Kurve?

6) Gab es eine Beziehung zwischen den Tönen und der Kurve?

7) Hat Dich irgend etwas unterstützt oder gestört bei der Folgeaufgabe?

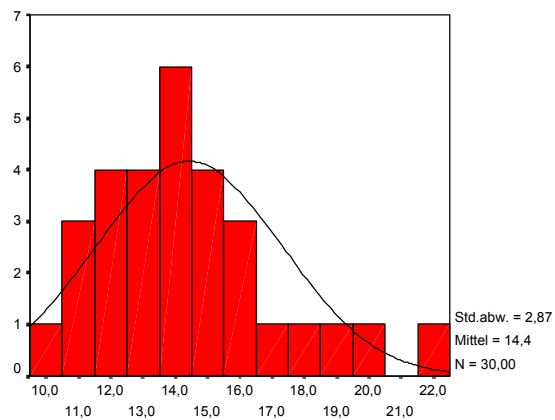
8) Während des Tests war ein Abschnitt immer derselbe. Ist Dir das aufgefallen?

☐ ja ☐ nein

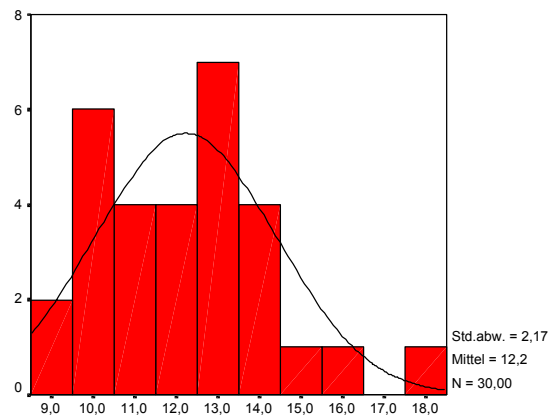
9) Welcher Abschnitt war immer gleich?

☐ der erste ☐ der zweite ☐ der dritte

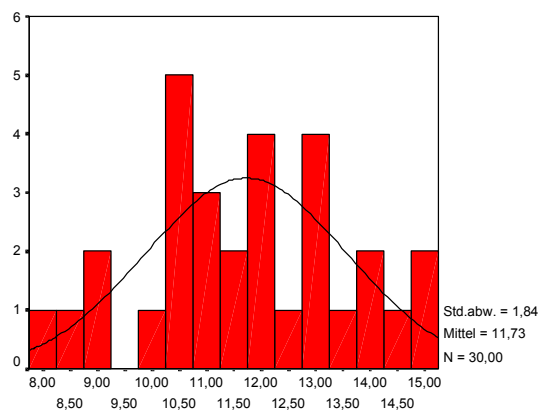
8.4 Normalverteilungen



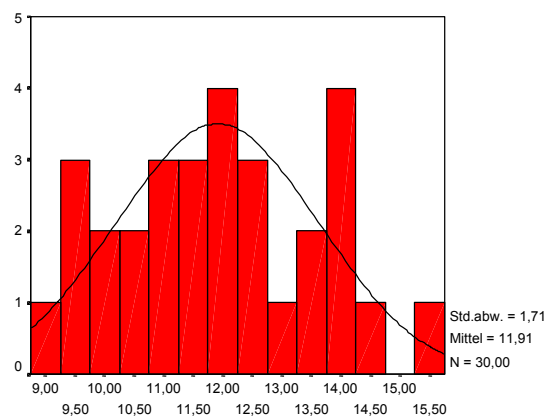
B1_GES



B6_GES



RET_GES



XTRA_GES

Erklärung:

Ich erkläre, daß ich die Arbeit selbständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt habe und daß alle Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinne nach anderen Werken entnommen sind, durch Angabe der Quellen als Entlehnung kenntlich gemacht worden sind.

(Hirschberg, den 5.1.98)

(Jörg - Ralph Schorer)